

AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO – PARMA

Strada Giuseppe Garibaldi 75, I-43121 Parma

**(PC-E-809) LAVORI DI RIALZO DELL'ARGINE MAESTRO IN DESTRA DEL
FIUME PO NEL II C.I. DI PIACENZA PER L'ADEGUAMENTO DELLA
SAGOMA DEFINITIVA PREVISTA DAL PIANO SIMPO NEI COMUNI
DI CALENDASCO E ROTTOFRENO (PS45 2001-2002)**

**PROGETTO ESECUTIVO
1° lotto funzionale**

R06 – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

IL RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI:
**CAPOGRUPPO MANDATARIA
PROGETTAZIONE GENERALE – INGEGNERIA IDRAULICA E STRUTTURALE**

DIZETA INGEGNERIA
 STUDIO ASSOCIATO
Via Bassini, 19 - 20133 MILANO Tel. 02-70600125
server@dizetaingegneria.it Fax 02-70600014
ING. FULVIO BERNABEI
ING. LAURA GRILLI
ING. GIANLUIGI SEVINI
**MANDANTE
GEOLOGIA E GEOTECNICA**

ENGEO S.r.l.
 ENGINEERING GEOLOGY
 www.engeo.it

GEOL. CARLO CALEFFI
GEOL. FRANCESCO CERUTTI
**MANDANTE
ASPETTI AMBIENTALI E PAESAGGISTICI**
STUDIO PANDAKOVIC
ARCH. ANGELO DAL SASSO
**MANDANTE
ARCHEOLOGIA**

GIANO S.N.C.
DOTT. DARIA PASINI
**MANDANTE
TOPOGRAFIA E PIANO PARTICELLARE ESPROPRI**
GEOM. MARCO SOZZÈ
**PROGETTISTA:
DOTT. ING. FULVIO BERNABEI**
**RUP:
DOTT. ING. MIRELLA VERGNANI**
DATA **LUGLIO 2019**
COMMESSA N° **2018/005** **REDATTO** **BROVELLI**
CODICE COMMESSA **ESARGINIPIACENZA** **CONTROLLATO** **GRILLI**
NOME FILE **APPROVATO** **BERNABEI**

REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA	REDATTO	CONTR.	APPR.
01	Novembre 2019	MODIFICHE A SEGUITO DEI RILIEVI EMERSI IN SEDE DI VERIFICA PROGETTUALE	GRILLI	GRILLI	BERNABEI

INDICE

1	Premesse	6
2	Normativa di riferimento	7
3	Relazioni tecniche di riferimento	8
4	Modellazione in SAP 2000	9
4.1	Sintesi funzionalità generali	9
4.2	Sistemi di riferimento globale	10
4.3	Sistemi di riferimento locale per elementi Frame (travi, pilastri)	10
4.4	Sistemi di riferimento locale per elementi Shell (solette, pareti, platee)	11
4.5	Casi di carico	14
4.6	Casi di analisi in condizioni statiche	14
4.7	Casi di analisi in condizioni dinamiche	15
5	Chiavica Nuova Galeotto	17
5.1	Descrizione delle opere	17
5.2	Disegni di riferimento	20
5.3	Caratteristiche dei materiali impiegati	21
5.3.1	Calcestruzzo strutturale di classe di resistenza C32/40 ed esposizione XC4	21
5.3.2	Acciaio in barre ad aderenza migliorata per cemento armato saldabile	22
5.3.3	Acciaio strutturale S355JR impiegato per la paratoia	22
5.3.4	Acciaio S275 impiegato per parapetto	22
5.4	Valutazione dell'azione sismica	22
6	Canale di alimentazione (Blocco 1)	27
6.1	Descrizione del blocco	27
6.2	Descrizione dei carichi e delle loro combinazioni	27
6.2.1	Azioni dovute al terreno e all'acqua	29
6.2.2	Azioni dovute all'edificio servizi	30
6.2.3	Azioni dovute a persone e mezzi sul terreno	32
6.2.4	Azioni dovute ai mezzi sulla strada	34
6.2.5	Azioni dovute a sisma agente sulla struttura	35
6.3	Modellazione e risultati delle analisi	35
6.3.1	Platea di fondazione	36
6.3.2	Pareti laterali	40
6.3.3	Soletta di copertura	44

6.4	Verifiche effettuate	47
6.4.1	Verifiche della platea di fondazione	47
6.4.2	Verifica delle pareti laterali	59
6.4.3	Verifiche della soletta di copertura	71
7	Camera di alloggiamento delle idrovore (Blocco 2)	83
7.1	Descrizione del blocco	83
7.2	Descrizione dei carichi e delle loro combinazioni	84
7.2.1	Azioni dovute al terreno e all'acqua	85
7.2.2	Azioni dovute alla presenza delle idrovore	86
7.2.3	Azioni dovute alle persone e ai mezzi sulla soletta di copertura	86
7.2.4	Azioni dovute ai mezzi sulla strada di servizio	87
7.2.5	Azioni dovute alla neve	87
7.2.6	Azioni dovute a sisma agente sulla struttura	89
7.2.7	Azioni dovute a eventi eccezionali	89
7.3	Modellazione e risultati delle analisi	91
7.3.1	Platea di fondazione	92
7.3.2	Pareti	94
7.3.2.1	Spessore 80cm	94
7.3.2.2	Spessore 50cm	96
7.3.2.3	Spessore 40cm	98
7.3.2.4	Spessore 30cm	100
7.3.3	Soletta a quota 51.40 m s.l.m	102
7.3.4	Solette a quota 55.92 m s.l.m	104
7.3.5	Soletta di copertura	108
7.4	Verifiche effettuate	112
7.4.1	Verifiche della platea di fondazione	112
7.4.2	Verifica delle pareti	124
7.4.2.1	Spessore 80cm	124
7.4.2.2	Spessore 50cm	138
7.4.2.3	Spessore 40cm	151
7.4.2.4	Spessore 30cm	164
7.4.3	Verifiche della soletta a quota 51.40 m s.l.m	177
7.4.4	Verifiche delle solette a quota 55.92 m s.l.m	190
7.4.5	Verifiche della soletta di copertura	202
8	Canale di scarico (Blocco 3)	215
8.1	Descrizione del blocco	215
8.2	Descrizione dei carichi e delle loro combinazioni	216

8.2.1 Azioni dovute al terreno e all'acqua	217
8.2.2 Azioni dovute alle persone e ai mezzi in superficie	218
8.2.3 Azioni dovute ai mezzi sulla strada di servizio	218
8.2.4 Azioni dovute a sisma agente sulla struttura	219
8.3 Modellazione e risultati delle analisi	219
8.3.1 Platea di fondazione	220
8.3.2 Pareti laterali	222
8.3.3 Soletta di copertura	226
8.4 Verifiche effettuate	229
8.4.1 Verifiche della platea di fondazione	229
8.4.2 Verifiche delle pareti laterali	241
8.4.3 Verifiche della soletta di copertura	253
9 Manufatto di sbocco – Tratto scoperto (Blocco 4)	265
9.1 Descrizione del blocco	265
9.2 Descrizione dei carichi e delle loro combinazioni	266
9.2.1 Azioni dovute al terreno e all'acqua	266
9.2.2 Azioni dovute alle persone e ai mezzi in superficie	267
9.2.3 Azioni dovute alle persone e ai mezzi sulla soletta	267
9.2.4 Azioni dovute alla neve	268
9.2.5 Azioni dovute a sisma agente sulla struttura	268
9.3 Modellazione e risultati delle analisi	269
9.3.1 Platea di fondazione	270
9.3.2 Pareti	274
9.3.2.1 PARETE 1	274
9.3.2.2 PARETE 2	278
9.3.2.3 PARETE 3	282
9.3.2.4 PARETE 4	286
9.3.2.5 PARETE SUD	290
9.3.3 Soletta a quota 51.70 m s.l.m.	293
9.4 Verifiche effettuate	296
9.4.1 Verifiche della platea di fondazione	296
9.4.2 Verifiche delle pareti	308
9.4.2.1 PARETE 1	308
9.4.2.2 PARETE 2	320
9.4.2.3 PARETE 3	332
9.4.2.4 PARETE 4	344
9.4.2.5 PARETE SUD	356
9.4.3 Verifiche della soletta a quota 51.70 m s.l.m.	368

10 Manufatto di sbocco – Tratto coperto (Blocco 5)	380
10.1 Descrizione del blocco	380
10.2 Descrizione dei carichi e delle loro combinazioni	381
10.2.1 Azioni dovute al terreno e all'acqua	381
10.2.2 Azioni dovute alle persone e ai mezzi sulla soletta	382
10.2.3 Azioni dovute alla neve	382
10.2.4 Azioni dovute a sisma agente sulla struttura	383
10.3 Modellazione e risultati delle analisi	383
10.3.1 Platea di fondazione	384
10.3.2 Pareti	388
10.3.2.1 PARETI LATERALI	388
10.3.2.2 PARETE NORD	392
10.3.3 Soletta di copertura	395
10.4 Verifiche effettuate	399
10.4.1 Verifiche della platea di fondazione	399
10.4.2 Verifiche delle pareti	411
10.4.2.1 PARETI LATERALI	411
10.4.2.2 PARETE NORD	423
10.4.3 Verifiche della soletta di copertura	435
11 Edificio servizi (Blocco 6)	448
11.1 Descrizione del blocco	448
11.2 Descrizione dei carichi e delle loro combinazioni	449
11.2.1 Azioni dovute ai macchinari e ai locali interni	449
11.2.2 Azioni dovute alle persone sulla soletta	450
11.2.3 Azioni dovute alla neve	450
11.2.4 Azioni dovute a sisma agente sulla struttura	450
11.3 Modellazione e risultati delle analisi	450
11.3.1 Platea di fondazione	451
11.3.2 Pareti	454
11.3.2.1 PARETE LATO LUNGO	454
11.3.2.2 PARETE LATO CORTO	458
11.3.3 Soletta di copertura	462
11.4 Verifiche effettuate	465
11.4.1 Verifiche della platea di fondazione	465
11.4.2 Verifiche delle pareti	477
11.4.2.1 PARETE LATO LUNGO	477
11.4.2.2 PARETE LATO CORTO	489

11.4.3	Verifiche della soletta di copertura	501
12	Verifiche di capacità portante	514
12.1	Canale di alimentazione (Blocco 1)	515
12.2	Camera di alloggiamento delle idrovore (Blocco 2)	515
12.3	Canale di scarico (Blocco 3)	516
12.4	Canale di sbocco – Tratto scoperto (Blocco 4)	517
12.5	Canale di sbocco – Tratto coperto (Blocco 5)	517
12.6	Edificio servizi	518
13	Analisi delle opere esistenti	519
14	Verifiche sulla paratoia motorizzata	520
14.1	Verifica a flessione del profilato UPN120 orizzontale	521
15	Verifiche sui parapetti	522

1 Premesse

La presente relazione illustra le verifiche strutturali atte al dimensionamento delle opere previste in progetto nell'ambito dell'appalto *Lavori di rialzo dell'argine maestro in destra Fiume Po nel II° C.I. di Piacenza per l'adeguamento della sagoma definitiva prevista dal Piano Simpo in Comune di Calendasco e Rottofreno (PS45 2001-2002) - PC-E-809*.

Nello specifico, nei Capitoli 2 e 3 della presente relazione sono citate le normative e le relazioni tecniche di riferimento alla base dei calcoli e delle verifiche sviluppate. Riferimenti dettagliati a paragrafi e tabelle in normativa sono precisati puntualmente, ove ritenuto opportuno, negli altri capitoli.

Nel Capitolo 4 sono fornite specifiche riguardo il software SAP2000 utilizzato ai fini della pre-analisi strutturale nei casi in cui si sia ritenuto opportuno generare un modello dell'opera o di parte di essa.

I Capitoli da 5 a 11 sono dedicati alle verifiche strutturali della Chiavica Nuova Galeotto.

Il Capitolo 5:

- descrive la nuova chiavica nella sua totalità;
- riporta la caratterizzazione meccanica dei materiali impiegati per realizzare gli elementi strutturali;
- elenca gli elaborati grafici in cui essa viene rappresentata;
- introduce la suddivisione della chiavica in sei blocchi;
- analizzati e modellati separatamente nei successivi capitoli;
- definisce l'azione sismica di progetto.

Per ogni Blocco, nei Capitoli da 6 a 11, vengono quindi riportate:

- la descrizione dettagliata dell'elemento e delle parti strutturali che lo costituiscono;
- la descrizione delle fasi realizzative (ove necessaria);
- la definizione dei carichi considerati e delle loro combinazioni;
- la modellazione ed i risultati dell'analisi;
- le verifiche effettuate.

Il Capitolo 12 riporta le verifiche di capacità portante effettuate per i diversi blocchi che compongono la Chiavica Nuova Galeotto.

Nel Capitolo 13 viene riportata una valutazione delle condizioni strutturali delle opere esistenti, sia allo stato di fatto che in seguito alla progettazione.

Il Capitolo 14 riporta le verifiche strutturali eseguite in riferimento alla paratoia motorizzata prevista allo sbocco del canale di scarico inferiore, mentre, in conclusione, il Capitolo 15 riporta la verifica dei parapetti.

2 Normativa di riferimento

Il dimensionamento e la verifica della struttura sono stati condotti in conformità alla normativa nazionale vigente e, in particolare, nel rispetto delle disposizioni di:

- [A] Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17.01.2018 (di seguito "NTC18");
- [B] Circolare esplicativa 21.07.2018 pubblicata sul Supplemento ordinario n. 5 alla Gazzetta Ufficiale – Serie generale n. 35 dell'11.02.2019, contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" (di seguito "Circolare");
- [C] Eurocodice 2 "Progetto di strutture in calcestruzzo" UNI EN 1992-1-1 (di seguito "EC2").

3 Relazioni tecniche di riferimento

Il progetto nella sua interezza è illustrato nella "R01 – Relazione generale".

I parametri del terreno utilizzati nei calcoli della presente relazione sono stati ricavati con riferimento alla relazione "R03 – Relazione geotecnica e sismica".

Nella relazione "R05 – Relazione sulle verifiche di stabilità" sono riportate le verifiche di stabilità geotecnica del rilevato arginale in corrispondenza, anche, della Chiavica Nuova Galeotto. Nello specifico, sono state svolte le verifiche di:

- stabilità globale dell'opera in condizioni di esercizio, piena eccezionale del Fiume Po, rapido svasso e sisma;
- accettabilità dei cedimenti del piano di fondazione indotti dalla realizzazione della chiavica e del ringrosso arginale di progetto;
- ammissibilità dei fenomeni connessi alla filtrazione;
- stabilità e conformità delle opere provvisorie;
- stabilità al galleggiamento dell'opera in condizioni di piena eccezionale del Fiume Po.

Tutte le analisi svolte hanno dato esito positivo, confermando la stabilità dell'opera alle diverse azioni cui può essere assoggettata e l'ammissibilità delle reazioni ad esse opposte.

4 Modellazione in SAP 2000

Come anticipato, nei Capitoli da 6 a 11 vengono riportate le analisi strutturali e i dimensionamenti dei singoli blocchi costituenti la Chiavica Nuova Galeotto, per ognuno dei quali è stato implementato un modello con il software SAP2000.

4.1 Sintesi funzionalità generali

I primi software della serie SAP per l'analisi di strutture con il metodo agli elementi finiti hanno fatto la loro comparsa sul finire degli anni cinquanta sviluppati da un gruppo dell'università di Berkeley specializzato nelle strutture tipo civile e capeggiato dai professori Wilson e Bathe.

SAP2000 è un codice che permette di risolvere strutture spaziali con il metodo delle deformazioni.

In questa analisi si suppone che la struttura sia composta da elementi semplici compresi tra nodi. Ogni elemento può essere soggetto a spostamenti longitudinali, trasversali e rotazionali. A tali spostamenti corrispondono forze e momenti necessari per mantenere la struttura in tale condizione.

Tale metodo può essere applicato a strutture composte da ogni tipo di elemento e non è limitativo quanto a forma o particolari materiali. Non è necessario che le caratteristiche degli elementi restino costanti tra i nodi.

La modellazione della struttura è realizzata tramite elementi Frame (travi e pilastri) e Shell (platee, pareti, solette).

L'input della struttura avviene per oggetti (travi, pilastri, solai, solette, pareti, etc.) in un ambiente grafico integrato; il modello di calcolo agli elementi finiti, che può essere visualizzato in qualsiasi momento in una apposita finestra, viene generato dinamicamente dal software.

L'utente esegue delle scelte come:

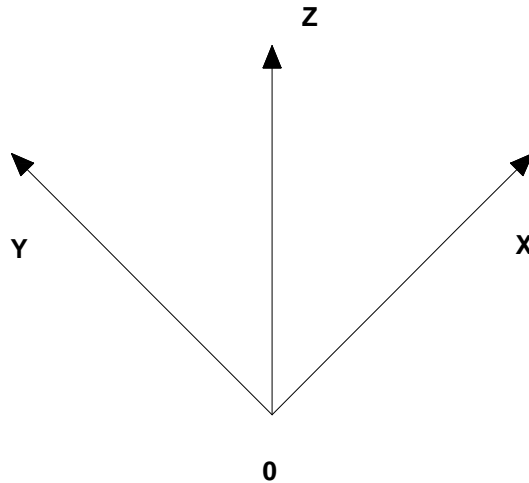
- definire i vincoli di estremità per ciascuna asta (vincoli interni) e gli eventuali vincoli nei nodi (vincoli esterni);
- modificare i parametri necessari alla definizione dell'azione sismica;
- definire condizioni di carico;
- definire gli impalcati come rigidi o meno.

Il programma è dotato di un manuale tecnico ed operativo. L'assistenza è effettuata direttamente dalla casa produttrice, mediante linea telefonica o e-mail.

Il comportamento del terreno è sostanzialmente rappresentato tramite una schematizzazione lineare alla Winkler, principalmente caratterizzabile attraverso una opportuna costante di sottofondo, che può essere anche variata nella superficie di contatto fra struttura e terreno e quindi essere in grado di descrivere anche situazioni più complesse.

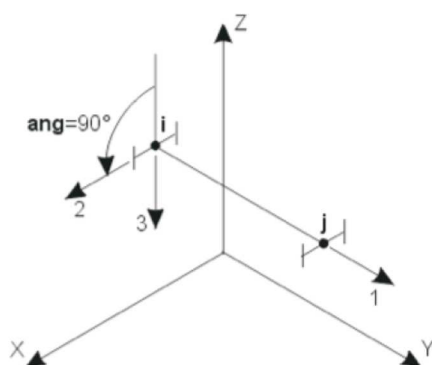
4.2 Sistemi di riferimento globale

Il sistema di riferimento globale è costituito da un sistema a tre coordinate cartesiane destrorso. I tre assi del sistema sono denominati X, Y, Z e sono tra loro perpendicolari. SAP2000 considera sempre come +Z l'asse verticale ascendente. Per default, la gravità è diretta secondo la direzione Z.

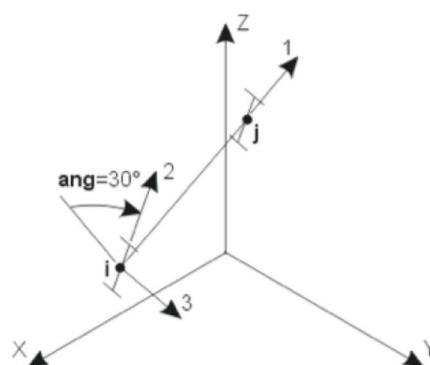


4.3 Sistemi di riferimento locale per elementi Frame (travi, pilastri)

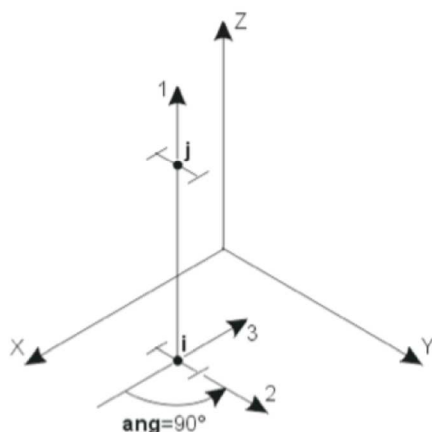
Ciascun elemento frame ha il proprio sistema di coordinate locale, con assi denominati 1, 2, 3. L'asse locale 1 è sempre l'asse longitudinale dell'elemento con la direzione positiva diretta dall'estremo I all'estremo J. Le direzioni 2 e 3 sono parallele agli assi neutri della sezione. Di solito la direzione 2 è presa lungo la direzione maggiore (altezza) della sezione, mentre la direzione 3 lungo la sua dimensione minore (larghezza).



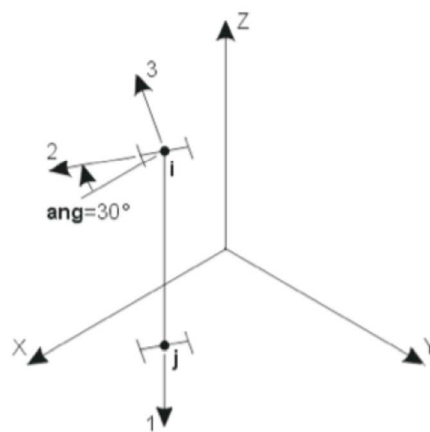
L'asse locale 1 è parallelo all'asse +Y
L'asse locale 2 è ruotato di 90° dal piano Z-1



L'asse locale 1 non è parallelo agli assi X, Y o Z
L'asse locale 2 è ruotato di 30° dal piano Z-1



L'asse locale 1 è parallelo all'asse +Z
L'asse locale 2 è ruotato di 90° dal piano X-1



L'asse locale 1 è parallelo all'asse -Z
L'asse locale 2 è ruotato di 30° dal piano X-1

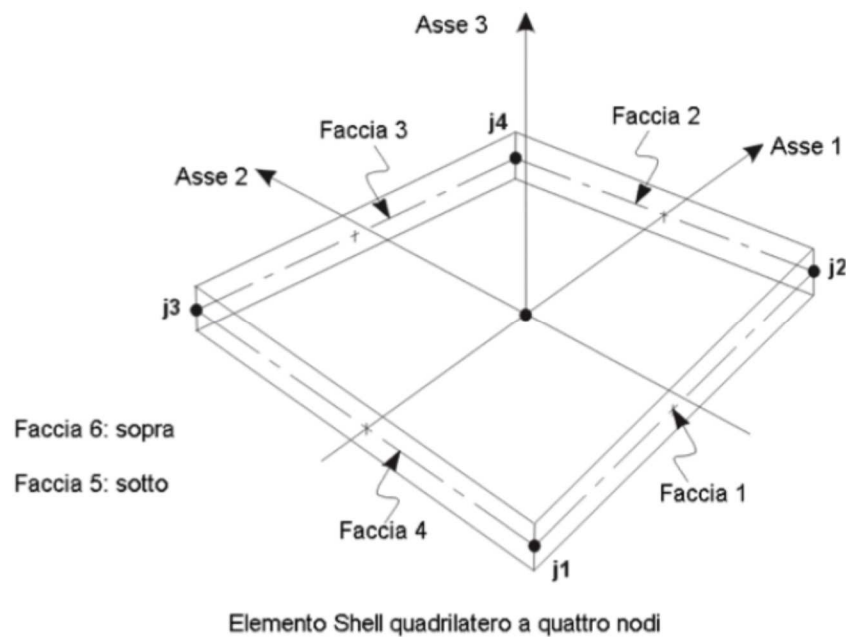
Le sollecitazioni verranno fornite in attinenza a tale sistema di riferimento:

- P, la forza assiale,
- V2, la forza di taglio nel piano 1-2
- V3, la forza di taglio nel piano 1-3
- T, momento torcente
- M2, il momento flettente nel piano 1-3 (intorno all'asse 2)
- M3, il momento flettente nel piano 1-2 (intorno all'asse 3)

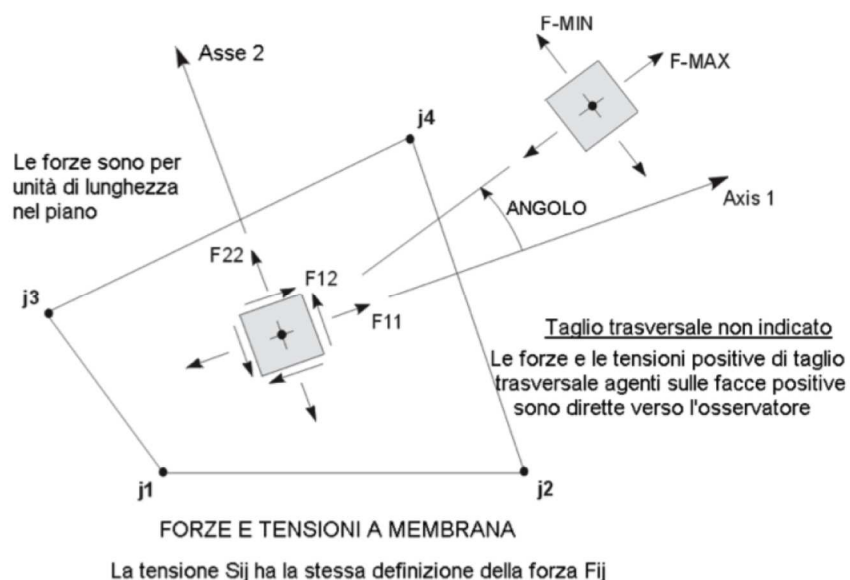
4.4 Sistemi di riferimento locale per elementi Shell (solette, pareti, platee)

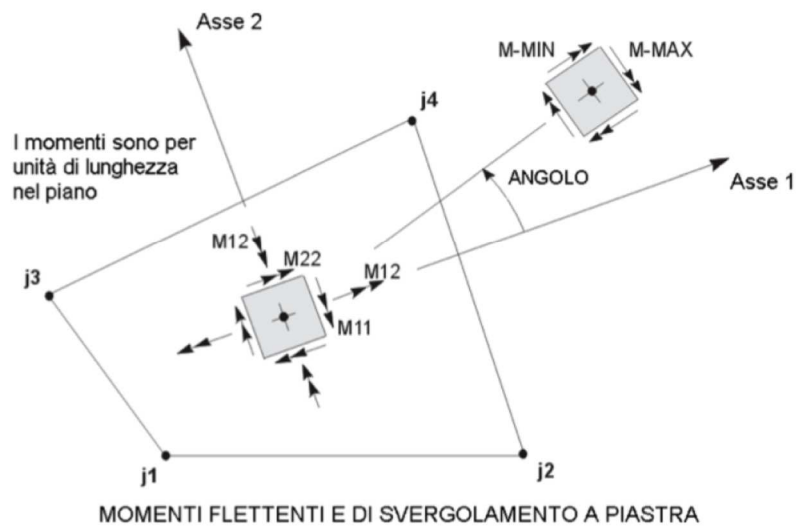
L'elemento Shell ha una formulazione a tre o quattro nodi che combina il comportamento separato a membrana e quello a piastra flettente. Il comportamento a membrana usa una formulazione isoparametrica che comprende le componenti di rigidità traslazionali nel piano e una componente di rigidità rotazionale nella direzione normale al piano dell'elemento. Il comportamento a piastra flettente comprende due componenti di rigidità rotazionali della piastra, fuori dal piano e una

componente di rigidità traslazionale nella direzione normale al piano dell'elemento. Per default viene utilizzata una formulazione a piastra spessa che comprende gli effetti della deformazione di taglio trasversale.



Ciascun elemento Shell ha un proprio sistema di coordinate locale usato per definire le proprietà del materiale, i carichi e l'output. Gli assi di questo sistema locale sono indicati con i numeri 1, 2, 3. I primi due assi giacciono nel piano dell'elemento con orientamento specificato dall'utente; il terzo asse è normale.





Le sollecitazioni verranno fornite in attinenza a tale sistema di riferimento:

- Tensioni assiali nel piano: S_{11} e S_{22}
- Tensione di taglio nel piano: S_{12}
- Tensioni di taglio trasversali: S_{13} e S_{23}
- Tensione assiale normale al piano: S_{33} (considerata sempre nulla)

Le tre tensioni nel piano sono assunte costanti o variabili linearmente entro lo spessore dell'elemento. Le due tensioni di taglio trasversali sono considerate costanti lungo lo spessore. La vera distribuzione della tensione di taglio è parabolica, con valore nullo sulle superficie in alto e in basso e con valore massimo o minimo alla superficie mediana dell'elemento.

Le forze interne dell'elemento Shell, chiamate anche risultanti delle tensioni, sono le forze ed i momenti che risultano dall'integrazione delle tensioni sullo spessore dell'elemento:

- Forze membranali assiali: F_{11} e F_{22}
- Forza membranale di taglio: F_{12}
- Momenti flettenti a piastra: M_{11} e M_{22}
- Momento di svergolamento a piastra: M_{12}
- Forze di taglio trasversali a piastra: V_{13} e V_{23}

E' molto importante notare che queste risultanti della tensione sono forze e momenti per unità di lunghezza nel piano. Sono presenti in ciascun punto sulla superficie mediana dell'elemento.

4.5 Casi di carico

I carichi (Loads) rappresentano le azioni agenti sulla struttura, come forze, pressioni, cedimenti vincolari, effetti termici, accelerazione al terreno e altro. Una distribuzione spaziale di questi carichi è chiamata condizione di carico (Load Case).

Una condizione di carico rappresenta, in definitiva, un carico elementare; di seguito riportiamo i tipi previsti:

- DEAD: carico permanente (G1)
- SUPER DEAD: carico permanente (G2)
- LIVE, REDUCED LIVE: carichi accidentali (Q)
- QUAKE: azioni sismiche (E)
- WIND: azioni dovute al vento (Q)
- SNOW: carico neve (Q)
- WAVE: carichi determinati da onde di pressione (Q)
- OTHER: altri tipi di carico

4.6 Casi di analisi in condizioni statiche

Per l'analisi strutturale, volta alla valutazione degli effetti delle azioni, si possono adottare i seguenti metodi:

- a) Analisi elastica lineare;
- b) Analisi plastica;
- c) Analisi non lineare.

Analisi elastica lineare

Per la determinazione degli effetti delle azioni, sia per lo stato limite ultimo che di esercizio, le analisi sono effettuate assumendo:

- sezioni interamente reagenti con rigidezze valutate riferendosi al solo cls;
- relazioni tensioni deformazione lineare;
- valori medi del modulo di elasticità.

Analisi plastica

Al materiale si attribuisce un diagramma delle tensioni-deformazioni rigido-plastico verificando che la duttilità delle sezioni dove si localizzano le plasticizzazioni sia sufficiente a garantire la formazione del meccanismo di collasso previsto.

Nell'analisi si trascurano gli effetti di precedenti applicazioni del carico e si assume un incremento monotono dell'intensità delle azioni e la costanza del rapporto tra le loro intensità così da pervenire ad un unico moltiplicatore di collasso.

Analisi non lineare

Al materiale si attribuisce un diagramma tensioni-deformazioni che ne rappresenti adeguatamente il comportamento reale, verificando che le sezioni dove si localizzano le plasticizzazioni siano in grado di sopportare allo stato limite ultimo tutte le deformazioni non elastiche derivanti dall'analisi, tenendo in appropriata considerazione le incertezze.

Nell'analisi si trascurano gli effetti di precedenti applicazioni del carico e si assume un incremento monotono dell'intensità delle azioni e la costanza del rapporto tra le loro intensità.

Le analisi effettuate per le verifiche strutturali delle opere in esame sono di tipo elastico lineare.

4.7 Casi di analisi in condizioni dinamiche

L'analisi delle strutture soggette ad azione sismica può essere di tipo lineare o non lineare, in relazione alla modellazione del comportamento del materiale.

Inoltre, in funzione del fatto che l'equilibrio sia tratto staticamente o dinamicamente, i metodi di analisi si distinguono ulteriormente in statici o dinamici.

Per le opere in esame si utilizzeranno analisi lineari dinamiche.

Analisi statica equivalente (analisi lineare statica)

L'analisi statica lineare consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica e può essere effettuata per costruzioni che rispettino i requisiti specificati nel cap. 7.3.3.2 delle NTC18, a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame (T_1) non superi $2.5T_c$ o T_D e che la costruzione sia regolare in altezza.

L'entità delle forze si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo T_1 (calcolato in base alla formula 7.3.5 delle NTC18), e la loro distribuzione sulla struttura segue la forma del modo di vibrare principale nella direzione in esame.

Analisi dinamica modale (analisi lineare dinamica)

Il programma effettua l'analisi dinamica con il metodo dello spettro di risposta. Il sistema da analizzare può essere visto come un oscillatore con n gradi di libertà, di cui vanno individuati i modi propri di vibrazione. Il numero di frequenze da considerare è un dato di ingresso che l'utente deve assegnare. In generale si osservi che il numero di modi propri di vibrazione non può superare il numero di gradi di libertà del sistema.

La procedura attua l'analisi dinamica in due fasi distinte: la prima si occupa di calcolare le frequenze proprie di vibrazione, la seconda calcola spostamenti e sollecitazioni conseguenti allo spettro di risposta assegnato in input.

Nell'analisi spettrale il programma utilizza lo spettro di risposta assegnato in input, coerentemente con quanto previsto dalla normativa. L'eventuale spettro nella direzione globale Z è unitario.

L'ampiezza degli spettri di risposta è determinata dai parametri sismici previsti dalla normativa e assegnati in input dall'utente.

La procedura calcola inizialmente i coefficienti di partecipazione modale per ogni direzione del sisma e per ogni frequenza. Tali coefficienti possono essere visti come il contributo dinamico di ogni modo di vibrazione nelle direzioni assegnate. Si potrà perciò notare in quale direzione il singolo modo di vibrazione ha effetti predominanti. Successivamente vengono calcolati, per ogni modo di vibrazione, gli spostamenti e le sollecitazioni relative a ciascuna direzione dinamica attivata, per ogni modo di vibrazione. Per ogni direzione dinamica viene calcolato l'effetto globale, dovuto ai singoli modi di vibrazione, mediante la radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli effetti. E' prevista una specifica fase di stampa per tali risultati. L'ultima elaborazione riguarda il calcolo degli effetti complessivi, ottenuti considerando tutte le direzioni dinamiche applicate.

5 Nuova chiavica Galeotto

5.1 Descrizione delle opere

La nuova chiavica Galeotto verrà costruita in corrispondenza della sezione trasversale n. 24, fra la Tidoncello di monte e la Galeotto esistente e, come già anticipato, sarà realizzata in modo da poter ospitare un impianto di sollevamento che consenta lo scarico delle portate provenienti da monte anche in condizioni di piena del Po. Il nuovo manufatto, che sarà completato per le opere elettromeccaniche a cura del Consorzio di Bonifica di Piacenza, risolverà i problemi di allagamento dei terreni che si verifica allo stato attuale nella zona di Soprarivo, quando i livelli in Po impongono la chiusura delle paratoie della chiaviche.

Attraverso la sistemazione del reticolo idrico superficiale, da realizzarsi sempre a cura del Consorzio di Bonifica di Piacenza, alla nuova struttura verranno convogliati i contributi oggi afferenti alle chiaviche Riva, Tidoncello di monte, Galeotto esistente, Gobbi e Torchione.

Il nuovo manufatto sarà realizzato in c.a. e sarà composto dai seguenti elementi principali, di seguito definiti "blocchi":

1. canale di alimentazione
2. camera di alloggiamento delle idrovore
3. canale di scarico
4. manufatto di sbocco – tratto scoperto
5. manufatto di sbocco – tratto coperto
6. edificio servizi

La Figura 5.1 riporta la sezione longitudinale della chiavica (trasversale alla linea arginale), corrispondente alla sez. A-A di TAV. 7.1.

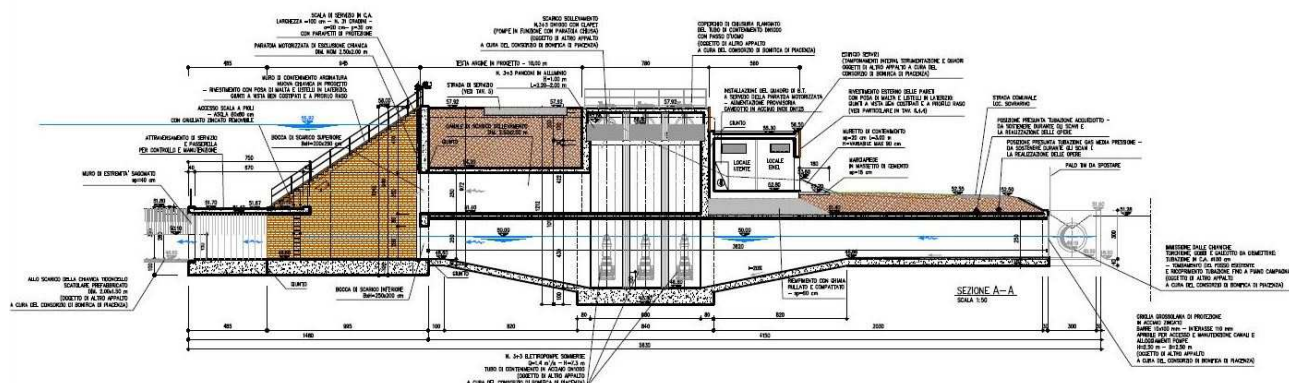


Figura 5.1 Chiavica Nuova Galeotto: sez. A-A

Nella Figura 5.2 invece, è rappresentata la suddivisione in blocchi della chiavica di progetto. Sulla base di questa suddivisione sono state svolte le analisi strutturali di cui ai prossimi capitoli.

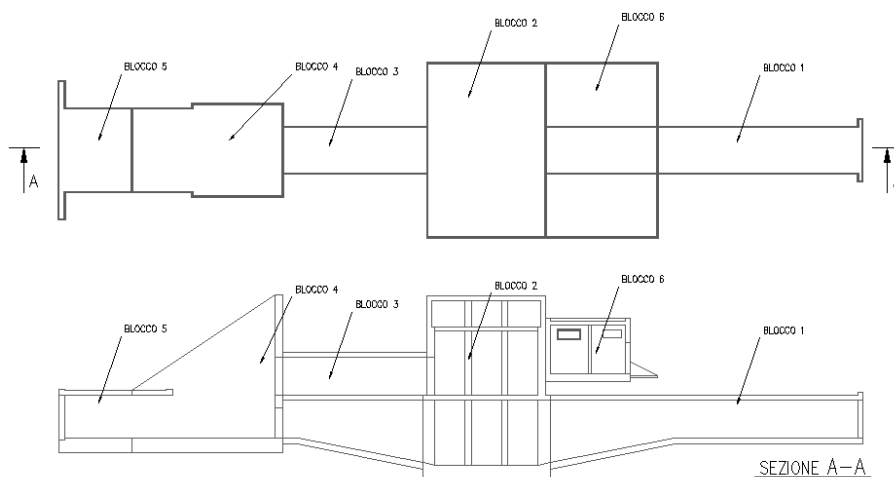


Figura 5.2 Chiavica Nuova Galeotto - suddivisione in blocchi per le analisi strutturali

In condizioni ordinarie, le portate raccolte dal reticolo idrico superficiale (adeguato dal Consorzio) transiteranno nel canale di alimentazione, passeranno sul fondo della camera di alloggiamento delle pompe, imboccheranno il canale di scarico inferiore e, attraverso il manufatto di sbocco, verranno recapitate in Po.

Quando il livello nel fiume supererà quota 50.00 m s.l.m., un apposito sensore comanderà la chiusura della paratoia motorizzata posta nel muro di testa del manufatto di sbocco e inizierà l'avvio delle idrovore: le portate sollevate alla quota della piena di riferimento (56.92 m s.l.m.) verranno poi convogliate in Po attraverso il canale di scarico superiore e il manufatto di sbocco.

Il canale di alimentazione avrà una sezione quadrata, con dimensioni interne di 2.50x2.50 m e avrà uno sviluppo complessivo di 20.30 m: lo spessore della fondazione sarà pari a 40 cm, mentre quello della soletta superiore e delle pareti laterali sarà di 30 cm. La soletta di fondo del canale presenterà uno scivolo con pendenza del 20% nel tratto prossimo alla camera di alloggiamento idrovore, così da evitare turbolenze in corrispondenza delle pompe (si veda la fig. 5.1 e la sez. A-A di TAV. 7.1).

La fondazione della camera di alloggiamento delle idrovore avrà dimensioni in pianta 8.40x12.10 m e spessore di 100 cm; le pareti esterne, di altezza complessiva pari a 11.12 m, avranno spessore variabile fra 80 e 30 cm (si veda la sez. B-B di TAV. 7.3). I setti interni, necessari per creare i vani di alloggiamento delle pompe, avranno spessore pari a 40 cm.

Il canale di scarico inferiore sarà del tutto simile a quello di alimentazione, con sezione quadrata di dimensioni interne 2.50x2.50 m, così come il canale di scarico superiore; saranno però diverse le bocche di uscita nel muro di testa del manufatto di sbocco: quella del canale inferiore sarà larga 2.50 m e alta 2.00 m, mentre la bocca di uscita del canale superiore sarà larga 2.00 m e alta 2.50 m (si veda la sez. D-D di TAV. 7.3).

Il manufatto di sbocco poggerà su una platea di fondazione, con dimensioni in pianta 14.80x7.10 m di spessore 100 cm, e sarà costituito dal muro di testa, lungo il quale scorrerà la paratoia di esclusione della chiavica e dai due muri d'ala. Il muro di testa avrà un'altezza di 9.32 m e uno

spessore di 50 cm, mentre i muri d'ala avranno un'altezza variabile fra 9.32 m e 3.10 m, con spessore compreso fra 30 cm in sommità e 100 cm alla base (si veda sempre la sez. D-D di TAV. 7.3).

A valle del manufatto di sbocco verrà realizzato un tratto di canale munito di soletta di copertura, di dimensioni 7.50x5.50 m e spessore pari a 30 cm, previsto per consentire sia il transito di mezzi che l'accesso del personale Aipo alla paratoia. Lungo la scarpata sarà presente una scala in c.a. di collegamento fra la sommità arginale e la soletta di copertura, mentre l'accesso da quest'ultima al fondo del manufatto di sbocco avverrà con una scala a pioli fissata al muro d'ala (si veda sempre la sez. A-A di TAV. 7.1). La botola di accesso alla paratoia, così come quelle per la movimentazione delle idrovore, saranno dotate di grigliati zincati removibili.

Il collegamento fra il manufatto di sbocco e l'attuale fosso di scarico in Po della chiavica Tidoncello di monte sarà realizzato con un manufatto scatolare di sezione rettangolare, con larghezza netta pari a 2.00 m e altezza netta pari a 1.50 m, rientrando negli interventi a carico del Consorzio di Bonifica di Piacenza.

Le platee di fondazione di ogni elemento sopra descritto verranno gettate sopra uno strato di magrone di spessore 10 cm.

All'interno della struttura si prevede l'inserimento di due tipologie di giunti:

- TIPO 1: giunto strutturale WATERSTOP in PVC tipo SERVITITE AT200 o equivalente, applicato a pareti attigue e ancorato a ferri di armatura in modo da assicurare perfetta stabilità al momento del getto. Esso sarà posizionato a metà dello spessore della platea o della parete interessata;
- TIPO 2: giunto WATERSTOP IDROESPANSIVO tipo GRACE ADCOR 500S o equivalenti fissato tramite chiodi di acciaio all'interfaccia tra elementi strutturali orizzontali (platee o solette) e verticali (pareti). Anch'esso sarà ubicato a metà dello spessore previsto per la parete del getto successivo.

I giunti di costruzione TIPO 1 saranno quattro e verranno posti all'interfaccia tra i vari blocchi individuati: due di questi saranno posti in corrispondenza del manufatto di sbocco, il primo al termine dei muri d'ala e il secondo lungo il muro di testa. Il terzo giunto collegherà i due tratti del canale di scarico superiore (appartenenti rispettivamente ai blocchi 2 e 3) e il canale di scarico inferiore alla camera di alloggiamento delle idrovore. Il quarto sarà invece posizionato tra la camera delle idrovore e il canale di alimentazione.

La seconda tipologia sarà invece adoperata ogniqualvolta vi sia interazione tra elementi strutturali verticali e orizzontali.

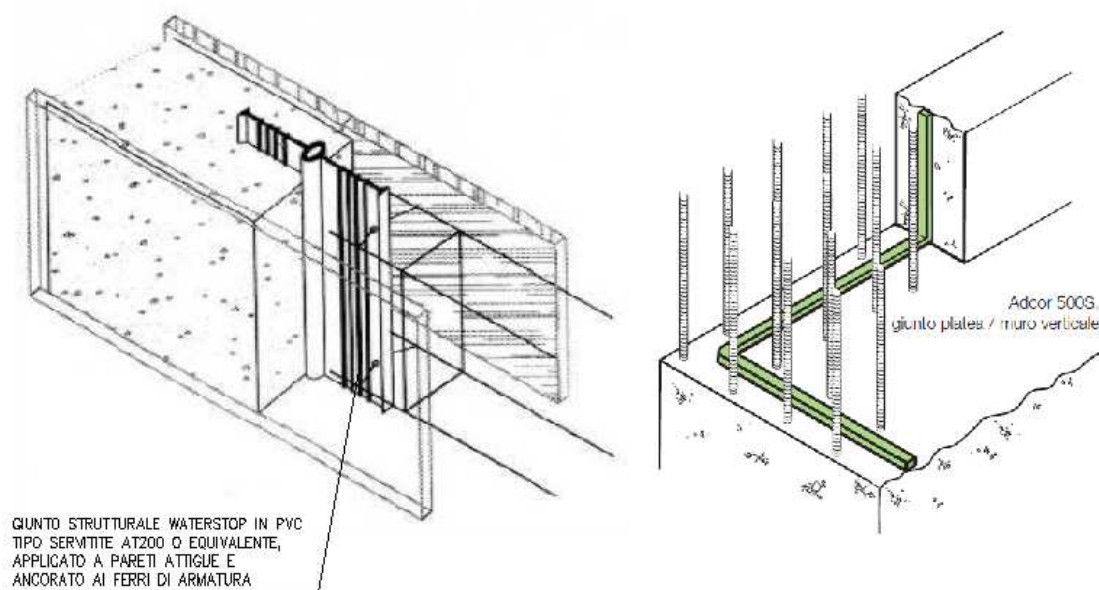


Figura 5.3 Giunti waterstop

Le posizioni in cui verranno installati i giunti sono indicate nelle TAVV.8.2-8.7, dove sono riportate le carpenterie dei diversi blocchi, mentre le modalità di posa e caratteristiche sono illustrate in TAV 8.1.

5.2 Disegni di riferimento

Le opere oggetto della presente relazione sono rappresentate nei seguenti elaborati grafici:

Tavola	Titolo	Scala
TAV 7.1	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro - pianta copertura e sezz. A-A, A1-A1, B-B	INDICATA
TAV 7.2	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro - piante a quote 50.00, 53.80 e 56.80 m slm	1:100
TAV 7.3	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro - sezz. A2-A2, A3-A3, C-C, D-D, E-E, F-F, G-G, H-H	INDICATA
TAV 7.4	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro - Edificio servizi	INDICATA
TAV 7.5	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro - carpenterie metalliche per paratoia, panconi, parapetti, grigliati e scala	INDICATA
TAV 8.1	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro - particolari giunti e modalità di posa	
TAV 8.2	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro - carpenterie e armature blocco 1	INDICATA
TAV 8.3.1	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro - carpenterie e armature blocco 2: fasi di getto da 1 a 3	INDICATA
TAV 8.3.2	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro - carpenterie e armature blocco 2: fasi di getto da 4 a 7	INDICATA
TAV 8.4	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro - carpenterie e armature blocco 3	INDICATA
TAV 8.5	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro - carpenterie e armature blocco 4	INDICATA

TAV 8.6	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro – carpenterie e armature blocco 5	INDICATA
TAV 8.7	Nuova chiavica Galeotto con predisposizione per impianto idrovoro – carpenterie e armature blocco 6	INDICATA

Tabella 5.1 Disegni di riferimento

5.3 Caratteristiche dei materiali impiegati

Per la realizzazione della struttura in c.a. è previsto l'utilizzo dei seguenti materiali:

- Calcestruzzo strutturale di classe di resistenza C32/40 ed esposizione XC4
- Magrone per sottofondazioni di classe di resistenza C12/15 ed esposizione X0
- Acciaio saldabile in barre ad aderenza migliorata per cemento armato tipo B450C

5.3.1 Calcestruzzo strutturale di classe di resistenza C32/40 ed esposizione XC4

Il calcestruzzo in oggetto presenta le seguenti caratteristiche:

Resistenza caratteristica a compressione cubica a 28 giorni : $R_{ck} = 40.00 \text{ MPa}$

Resistenza caratteristica a compressione cilindrica a 28 giorni: $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 33.20 \text{ MPa}$

La minima classe di resistenza prescritta per la tipologia di calcestruzzo è la C32/40.

La classe di esposizione XC4 si riferisce al calcestruzzo armato ordinario ciclicamente asciutto e bagnato (strutture a contatto con acqua non comprese in XC2).

A partire dal valore di resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo 28 giorni f_{ck} è possibile calcolare i parametri di resistenza del calcestruzzo da utilizzarsi nei calcoli.

La resistenza di calcolo del calcestruzzo f_{cd} è pari a:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \cdot 33.20}{1.5} = 18.81 \text{ MPa}$$

dove:

$\alpha_{cc} = 0.85$ coefficiente di riduzione per fenomeni differiti del calcestruzzo (viscosità)

$\gamma_c = 1.50$ coefficiente parziale di sicurezza del materiale

$f_{ck} = 33.20 \text{ MPa}$ resistenza caratteristica a compressione cilindrica a 28 giorni

Si calcola a questo punto la resistenza caratteristica media f_{cm} con:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33.20 + 8 = 41.20 \text{ MPa}$$

La resistenza media a trazione f_{ctm} è pari a:

$$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3} = 0.30 \cdot (33.20)^{2/3} = 3.10 \text{ MPa}$$

La resistenza caratteristica a trazione f_{ctk} è pari a:

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 0.7 \cdot 3.10 = 2.17 \text{ MPa}$$

La resistenza a trazione di calcolo f_{ctd} è pari a:

$$f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_c = 2.17/1.5 = 1.45 \text{ MPa}$$

Infine si valuta il modulo elastico E_{cm} del calcestruzzo.

$$E_{cm} = 22\,000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3} = 22\,000 \cdot \left(\frac{41.20}{10}\right)^{0.3} = 33643 \text{ MPa}$$

5.3.2 Acciaio in barre ad aderenza migliorata per cemento armato saldabile

Tipo di acciaio: B450C, controllato in stabilimento.

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} = 540 \text{ MPa}$

La resistenza a snervamento di progetto f_{yd} è pari a:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1.15} = 391.3 \text{ MPa}$$

dove $\gamma_s = 1.15$ è il coefficiente parziale di sicurezza del materiale acciaio.

5.3.3 Acciaio strutturale S355JR impiegato per la paratoia

L'acciaio utilizzato per la realizzazione della paratoia, fornita e posata in opera ha le seguenti caratteristiche:

$$f_{y,nom} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{t,nom} = 510 \text{ MPa}$$

5.3.4 Acciaio S275 impiegato per parapetto

L'acciaio zincato S275 impiegato per la realizzazione del parapetto è caratterizzato dai seguenti valori nominali di modulo di resistenza plastico da utilizzare nei calcoli (NTC18, §4.2.1.1):

$$f_y \cong 275 \text{ MPa}$$

5.4 Valutazione dell'azione sismica

Ai fini della valutazione dell'azione sismica è stata condotta un'analisi pseudo-statica (NTC18, cap. 7.11.6.2.1).

La delibera della giunta regionale 23 luglio 2018 n.1164, aggiorna la classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia Romagna, riclassificando il territorio. Secondo tale aggiornamento i comuni di Calendasco e Rottofreno, all'interno dei cui confini ricade l'area oggetto di studio, sono stati identificati in zona 3 (a sismicità bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, inferiori a 0.15g (dove g è l'accelerazione di gravità).

Tale classificazione ha tuttavia valore esclusivamente a fini amministrativi; alle Norme Tecniche per le costruzioni del D.M. 14-01-2008, è infatti allegato un documento sulla pericolosità sismica

(Allegato A), nel quale l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

I parametri sismici necessari alla determinazione delle azioni sismiche sono riportati in tabella:

COMUNE DI CALENDASCO (PC)				
Stato limite	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T_C^* (s)
SLO	120	0.052	2.535	0.260
SLD	201	0.064	2.530	0.276
SLV	1898	0.148	2.475	0.293
SLC	2475	0.162	2.476	0.293

Tabella 5.2 Parametri sismici - Comune di Calendasco (PC)

dove:

T_R = periodo di ritorno di riferimento

a_g (g) = accelerazione orizzontale massima al sito

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per valutare il periodo di ritorno in anni, si è dapprima definito il periodo di riferimento dell'azione sismica:

$$V_R = V_N \cdot C_u = 100 \cdot 2 = 200 \text{ anni}$$

con:

V_N = vita nominale della costruzione, pari a 100 anni, perché si tratta di un'opera ordinaria con importanza normale (NTC 2018, Tab. 2.4.I);

Tab. 2.4.I - Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

C_u = coefficiente d'uso pari a 2 (NTC18, Tab. 2.4.II), poiché si tratta di una costruzione in classe d'uso IV

2.4.2. CLASSI D'USO

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Si è poi fatto riferimento alla NTC18, Tab. 3.2.I:

Stato limite		PVR: Probabilità di superamento del periodo di riferimento VR
Stati limite di esercizio	SLO (stato limite di operatività)	81%
	SLD (stato limite di danno)	63%
Stati limite ultimi	SLV (stato limite di salvaguardia della vita)	10%
	SLC (stato limite di prevenzione del collasso)	5%

Tabella 5.3 NTC18 - Tab. 3.2.I - Probabilità di superamento del periodo di riferimento

Utilizzando l'espressione [NTC18, Par. 3.2.1.]:

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

si è potuto calcolare il valore del periodo di ritorno per ognuno degli stati limite considerati nel periodo di riferimento di 200 anni:

Stato limite		Periodo di ritorno TR (anni)
Stati limite di esercizio	SLO	120
	SLD	201
Stati limite ultimi	SLV	1898
	SLC	2475

Tabella 5.4 Periodo di ritorno del sisma di progetto

Le verifiche in condizioni sismiche, nel caso in esame, vengono condotte allo SLV per gli stati limite ultimi. I parametri sismici necessari allo svolgimento dell'analisi pseudo-statica sono k_h e k_v , rispettivamente coefficiente sismico orizzontale e verticale, per la definizione dei quali si è assunto:

- Categoria di sottosuolo → C (da informazioni di letteratura inerenti il territorio circostante il sito di riferimento (comune di Calendasco) - (NTC 2018, Tab. 3.2.II)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

- Categoria topografica → T1 (NTC18, Tab. 3.2.III)

Tab. 3.2.III - Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Il valore del coefficiente sismico orizzontale può essere valutato mediante la seguente espressione:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{\alpha_{max}}{g}$$

dove:

β_m = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa in sito (=0.38 nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV) per i muri di sostegno)

α_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

g = accelerazione di gravità

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione che segue:

$$\alpha_{max} = S \cdot \frac{a_g}{g} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \cdot g \text{ [m/s}^2\text{]}$$

dove:

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), così definite:

$$S_S = 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} = 1.70 - 0.60 \cdot 2.47 \cdot \frac{0.148}{9.81} = 1.50, \text{ per sottosuolo di categoria C,}$$

$$S_T = 1.00 \text{ per categoria topografica T1.}$$

Risulta quindi:

$$\alpha_{max} = 1.50 \cdot 1.00 \cdot 0.148 \cdot 9.81 = 2.18 \text{ m/s}^2$$

con il coefficiente sismico orizzontale per l'azione pseudo-statica di progetto pari a:

$$k_h = 0.38 \cdot \frac{2.18}{9.81} = 0.084 ; k_v = k_h \cdot 0.5 = 0.042$$

Le azioni esterne agenti sulle strutture, come le spinte del terreno e le sottospinte dell'acqua, ricevono un incremento in caso di sisma pari al valore dell'azione moltiplicata per il coefficiente sismico relativo alla direzione in cui essa si sviluppa (k_h o k_v). Allo stesso modo sono state calcolate forze statiche equivalenti pari al prodotto delle forze di gravità degli elementi strutturali moltiplicate per coefficienti sismici.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

Oltre al peso proprio degli elementi strutturali, sono stati considerati i carichi di seguito elencati. Cautelativamente non è stata considerata la presenza di acqua all'interno del manufatto; analogamente, si è considerato il terreno come completamente saturo, con livello di falda posto alla quota del piano campagna.

Il contributo allo stato di carico dato dalla neve in termini di sovraccarico sulla soletta e di sovraspinta sulle pareti è risultato irrilevante per il blocco in questione.

Nella tabella sottostante sono riportate le azioni considerate e le combinazioni con le quali sono state applicate durante la modellazione del blocco, secondo quanto disposto dalla normativa (NTC, §2.5.2, §2.5.3 - Tab. 2.5.I, categoria G).

Azioni	Coefficienti delle combinazioni										
	SLU FONDAMENTALE			SLE CARATTERISTICA (RARA)			SLE FREQUENTI			SLE QUASI.P.	SISMICA
	SLU FOND.1	SLU FOND.2	SLU FOND.3	R1	R2	R3	F1	F2	F3	QP	SISMICA
Permanenti strutturali											
Elementi strutturali											
Peso proprio	1.30	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Terreno e acqua											
Peso del terreno saturo	1.30	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Spinta del terreno saturo	1.30	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sottospinta dell'acqua	1.30	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti non strutturali											
Edificio servizi											
Sovraccarico distribuito	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sovraspinta su pareti	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Variabili											
Persone e mezzi sul terreno											
Sovraccarico distribuito	1.50	1.50 · 0.70	1.50 · 0.70	1.00	0.70	0.70	0.50	0.30	0.30	0.30	0.30
Sovraspinta su pareti	1.50 · 0.70	1.50	1.50 · 0.70	0.70	1.00	0.70	0.30	0.50	0.30	0.30	0.30
Mezzi sulla strada											
Sovraccarico concentrato	1.50 · 0.70	1.50 · 0.70	1.50	0.70	0.70	1.00	0.30	0.30	0.50	0.30	0.30
Sisma											
Elementi strutturali											
Forze inerziali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Terreno e acqua											
Sovraspinta su pareti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabella 6.1 Canale di alimentazione (blocco 1) - Combinazioni e coefficienti parziali

6.2.1 Azioni dovute al terreno e all'acqua

Considerando le indagini descritte nella relazione "R02 – Relazione geologica" e i parametri caratteristici dei terreni riportati nella "R03 – Relazione geotecnica e sismica", sono stati assunti i seguenti valori per i parametri di interesse delle analisi strutturali:

Peso terreno saturo	$\gamma_{t\text{sat}}$	19.00 kN/mc
Peso dell'acqua	γ_w	9.81 kN/mc
Coesione efficace del terreno	c'	11.36 kPa
Angolo di attrito del terreno	ϕ'	21.80°
Coefficiente di spinta attiva	k_A	0.46
Coefficiente di Winkler	k_S	20 kg/cm ³

Tabella 6.2 Parametri geotecnici

- Spinta del terreno saturo (carico permanente strutturale sfavorevole)

La pressione esercitata dalle terre è stata calcolata sulla base della seguente formula

$$q_t(z) \cong \gamma'_t \cdot k_A \cdot z - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_A} + z \cdot \gamma_w$$

dove:

- z è la quota del terreno rispetto al piano campagna;
- γ'_t è il peso del terreno in condizioni immerse;
- γ_w è il peso dell'acqua,
- $k_A = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'}$ è il coefficiente di spinta attiva del terreno;
- ϕ' è l'angolo di attrito del terreno;

- c' è la coesione efficace del terreno.

Si ricavano così i valori limite della distribuzione lineare di q_t :

$$q_t(z = 1.30 \text{ m}) = 13.95 \cdot 1.30 - 15.45 + 9.81 \cdot 1.30 \cong 15.43 \text{ kPa}$$

$$q_t(z = 6.25 \text{ m}) = 13.95 \cdot 6.25 - 15.45 + 9.81 \cdot 6.25 \cong 133.00 \text{ kPa}$$

- Peso del terreno saturo (carico permanente strutturale sfavorevole)

Il peso del terreno gravante sulla copertura del canale è dato da:

$$p_t(z) \cong \gamma_{t_{sat}} \cdot z$$

dove:

- $\gamma_{t_{sat}}$ è il peso del terreno in condizioni sature (Tabella 6.2).

Si ricava quindi il valore costante di p_t pari a:

$$p_t(z = 1.30 \text{ m}) \cong 19.00 \cdot 1.30 \cong 24.70 \text{ kPa}$$

- Sottospinta dell'acqua (carico permanente strutturale sfavorevole)

La sottospinta dell'acqua relativa al tirante di falda posto a piano campagna vale:

$$U(z) \cong \gamma_w \cdot z$$

Si ricava quindi la distribuzione di U al di sotto della platea, variabile tra i valori:

$$U(z = 4.60) \cong 9.81 \cdot 4.60 \cong 45.13 \text{ kPa}$$

$$U(z = 6.25 \text{ m}) \cong 9.81 \cdot 6.25 \cong 61.31 \text{ kPa}$$

6.2.2 Azioni dovute all'edificio servizi

Per considerare il contributo allo stato di carico dato dall'edificio servizi si assume un carico uniformemente distribuito sull'area di terreno su cui poggia la sua platea di fondazione.

Il peso dell'edificio è dato dalla somma dei pesi della platea, delle pareti laterali e della soletta (per le dimensioni in pianta dell'edificio si faccia riferimento al Capitolo 11.1),

rispettivamente:

$$w_{S_1} = 0.50 \cdot 5.60 \cdot 11.50 \cdot \gamma_{ca} \cong 805.00 \text{ kN}$$

$$w_{S_2} = 0.30 \cdot 3.70 \cdot (5.60 + 11.50) \cdot \gamma_{ca} \cong 475.00 \text{ kN}$$

$$w_{S_3} = 0.30 \cdot 5.00 \cdot 11.50 \cdot \gamma_{ca} \cong 431.00 \text{ kN}$$

essendo γ_{ca} il peso per unità di volume del cemento armato (NTC18, Tab. 3.1.I).

Si ricava quindi:

$$p_S = \frac{w_{S_1} + w_{S_2} + w_{S_3}}{5.60 \cdot 11.50} \cong 27.00 \text{ kPa}$$

- **Sovraccarico distribuito** (carico permanente non strutturale sfavorevole)

Il peso dell'edificio servizi viene trasmesso alla soletta del canale di alimentazione attraverso il terreno, secondo lo schema di seguito illustrato.

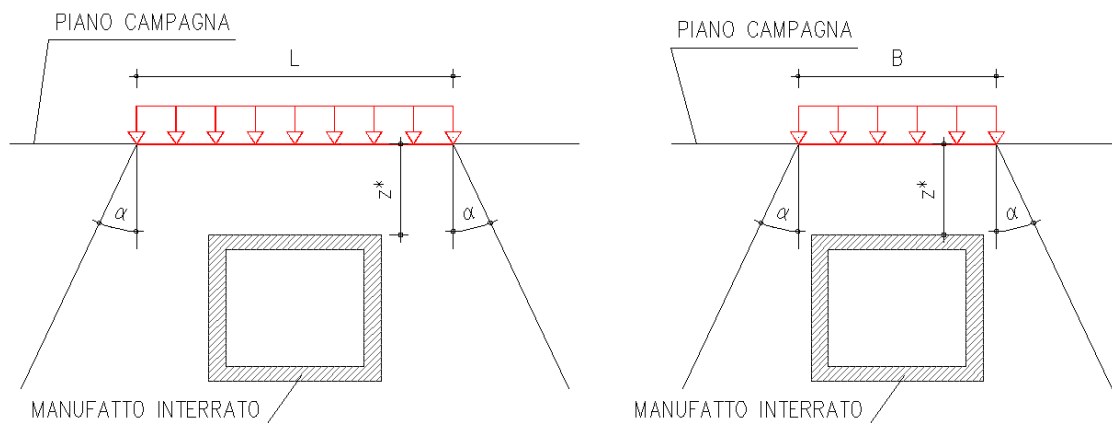


Figura 6.2 Carico distribuito trasmesso alla soletta attraverso il terreno

Con riferimento alla schematizzazione sopra riportata, nel caso di pressione uniforme su una superficie rettangolare, si può in prima approssimazione ipotizzare che il carico si diffonda a "tronco di piramide", con pendenza degli spigoli (1:2), cui corrisponde un'inclinazione $\alpha \cong 26.50^\circ$. Sotto questa ipotesi e considerando il carico distribuito agente in superficie (nel caso in questione p_s), è possibile stimare il valore effettivo della pressione all'aumentare della profondità rispetto al piano campagna e, quindi, dell'area di influenza sottesa $p_{seff}(z)$. La distribuzione della pressione al variare della profondità risulta avere il seguente andamento:

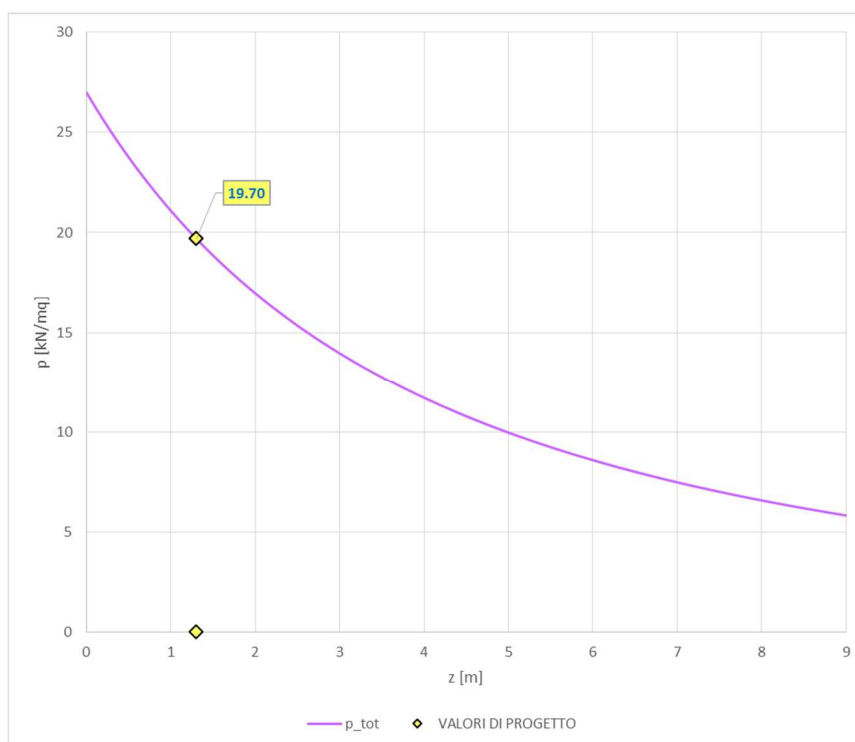


Figura 6.3 Pressione trasmessa dal terreno al variare della profondità

Come si può notare dalla Figura 6.3, la soletta del canale di alimentazione riceve una pressione uniforme pari a:

$$p_{seff}(z = 1.30 \text{ m}) \cong 19.70 \text{ kPa}$$

- **Sovrappinta sulle pareti** (carico permanente non strutturale sfavorevole)

La sovrappinta sulle pareti laterali per effetto del sovraccarico indotto dall'edificio servizi $q_{seff}(z)$ è calcolata considerando l'andamento della pressione verticale trasmessa dal terreno $p_{seff}(z)$ descritta nel paragrafo precedente moltiplicata per il coefficiente di spinta attiva k_A e interpolando quindi i valori relativi alle quote di estremità della parete.

$$q_{seff}(z = 1.30 \text{ m}) \cong p_{seff}(z = 1.30 \text{ m}) \cdot k_A \cong 9.06 \text{ kPa}$$

$$p_{seff}(z = 4.60 \text{ m}) \cong 10.60 \text{ kPa}$$

$$q_{seff}(z = 4.60 \text{ m}) \cong p_{seff}(z = 4.60 \text{ m}) \cdot k_A \cong 4.88 \text{ kPa}$$

$$p_{seff}(z = 6.25 \text{ m}) \cong 8.23 \text{ kPa}$$

$$q_{seff}(z = 6.25 \text{ m}) \cong p_{seff}(z = 6.25 \text{ m}) \cdot k_A \cong 3.79 \text{ kPa}$$

I valori intermedi sono stati stimati tramite interpolazione lineare.

6.2.3 Azioni dovute a persone e mezzi sul terreno

Il contributo allo stato di carico dato dalle persone e dai mezzi che possono accedere all'area soprastante il canale di alimentazione è stato considerato in ottemperanza di quanto disposto dalla normativa NTC18, Tab. 3.1.II.

Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	Uffici			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
	≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00	
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	5,00	da valutarsi caso per caso e comunque non minori di 2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		
* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.				
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.				

Per la categoria d'uso dell'opera in progetto è stata considerata la categoria G per il calcolo del valore dei sovraccarichi risultanti dalla presenza di persone e mezzi:

$$p_{k_{terr}} \cong 5.00 \text{ kPa}$$

- Sovraccarico distribuito (carico variabile sfavorevole)

Il sovraccarico distribuito $p_{k_{terr}}$ viene trasmesso alla soletta del canale di alimentazione attraverso il terreno secondo lo schema esemplificato nel Capitolo 6.2.2. Valutato, come nel caso dell'edificio servizi, l'andamento con la profondità del carico trasmesso alla soletta, si ottiene il valore effettivo

$$p_{k_{terr,eff}}(z = 1.30 \text{ m}) \cong 3.00 \text{ kPa}$$

- **Sovrappinta sulle pareti** (carico variabile sfavorevole)

La sovrappinta sulle pareti laterali per effetto del sovraccarico indotto dalle persone e dai mezzi gravanti sul terreno soprastante la soletta, $q_{k_{terr,eff}}(z)$, è calcolata considerando l'andamento della pressione verticale trasmessa dal terreno $p_{k_{terr,eff}}(z)$ descritta nel paragrafo precedente moltiplicata per il coefficiente di spinta attiva k_A e interpolando quindi i valori relativi alle quote di estremità della parete.

$$q_{k_{terr,eff}}(z = 1.30 \text{ m}) \cong p_{k_{terr,eff}}(z = 1.30 \text{ m}) \cdot k_A \cong 1.38 \text{ kPa}$$

$$p_{k_{terr,eff}}(z = 4.60 \text{ m}) \cong 1.30 \text{ kPa}$$

$$q_{k_{terr,eff}}(z = 4.60 \text{ m}) \cong p_{k_{terr,eff}}(z = 4.60 \text{ m}) \cdot k_A \cong 0.60 \text{ kPa}$$

$$p_{k_{terr,eff}}(z = 6.25 \text{ m}) \cong 0.90 \text{ kPa}$$

$$q_{k_{terr,eff}}(z = 6.25 \text{ m}) \cong p_{k_{terr,eff}}(z = 6.25 \text{ m}) \cdot k_A \cong 0.41 \text{ kPa}$$

I valori intermedi sono stati stimati tramite interpolazione lineare.

6.2.4 Azioni dovute ai mezzi sulla strada

Il contributo allo stato di carico dato dai mezzi transitanti sulla strada asfaltata soprastante il tratto iniziale del canale di alimentazione è stato considerato in ottemperanza di quanto disposto dalla normativa NTC18, Tab. 3.1.II, già riportata al Capitolo 6.2.3. Per definire la configurazione delle impronte su cui il carico viene applicato, è stata considerata la tabella delle NTC18, Tab. 5.1.IX., di seguito riportata.

Tab. 5.1.IX - Dimensioni degli assi e delle impronte per i veicoli equivalenti

Tipo di pneumatico	Dimensioni dell'asse e delle impronte
A	
B	
C	

Per il caso in questione è stata considerata la categoria d'uso G e la tipologia di pneumatico C.

- Sovraccarico concentrato (carico variabile sfavorevole)

Il carico concentrato dato da ognuna delle due ruote dei mezzi transitanti sulla strada $h_{k_{strada}}$ è applicato, secondo quanto normato, su due impronte di 320x270mm distanti assialmente 2.00 m.

$$h_{k_{strada}} \cong 50.00 \text{ kN} \rightarrow p_{k_{strada}} \cong \frac{50.00}{0.27 \cdot 0.32} \cong 580.00 \text{ kPa}$$

La soletta del manufatto riceve la pressione in questione attraverso il terreno che la ricopre, secondo lo schema descritto al Capitolo 6.2.2. La pressione effettiva risultante degli effetti della singola impronta è quindi pari a:

$$p_{k_{strada, eff}} \cong 20.00 \text{ kPa}$$

6.2.5 Azioni dovute a sisma agente sulla struttura

Le analisi sismiche, di cui al Capitolo 5.4, hanno permesso la stima dei coefficienti sismici, utili ora per la valutazione delle forze inerziali e delle sovraspinte agenti sulla struttura in caso di sisma.

- Forze inerziali degli elementi strutturali

Gli effetti del sisma sulle parti strutturali dell'opera sono simulati mediante l'applicazione di carichi gravitazionali, dati dal prodotto del peso di ogni elemento per il relativo coefficiente sismico. L'effetto dell'azione sismica è stato simulato attraverso l'involuppo delle azioni agenti nelle 4 direzioni planari (come da normativa NTC18, §7.3.5).

- Sovraspinta del terreno e dell'acqua sulle pareti

Le azioni agenti sulle pareti ricevono, in condizioni sismiche, un incremento dato dal valore caratteristico moltiplicato per il coefficiente sismico k_h .

6.3 Modellazione e risultati delle analisi

Applicando ai valori caratteristici ricavati nel Capitolo 6.2 i coefficienti delle diverse combinazioni riportati in Tabella 6.1, si ottengono i valori di progetto delle azioni con cui sono state eseguite le verifiche strutturali. Il comportamento del suolo, come specificato al Capitolo 4, è stato modellato considerando un comportamento cedevole, secondo il modulo di rigidezza di Winkler riportato anch'esso in Tabella 6.1. Nei paragrafi che seguono vengono rappresentate le distribuzioni degli sforzi sulle diverse parti strutturali e nelle diverse combinazioni di carico; nelle didascalie vengono indicati il caso più critico osservato e i valori massimi di progetto per ogni combinazione (SLU Fondamentale, SLE Caratteristica – Rara, SLE Frequenti, SLE Quasi Permanenti, Sismica), i quali saranno considerati al Capitolo 6.4 per le verifiche e i dimensionamenti. Vengono riportati anche i cedimenti massimi osservati in platea, U_z . Cautelativamente, l'azione assiale è stata trascurata nelle verifiche a flessione degli elementi strutturali compressi.

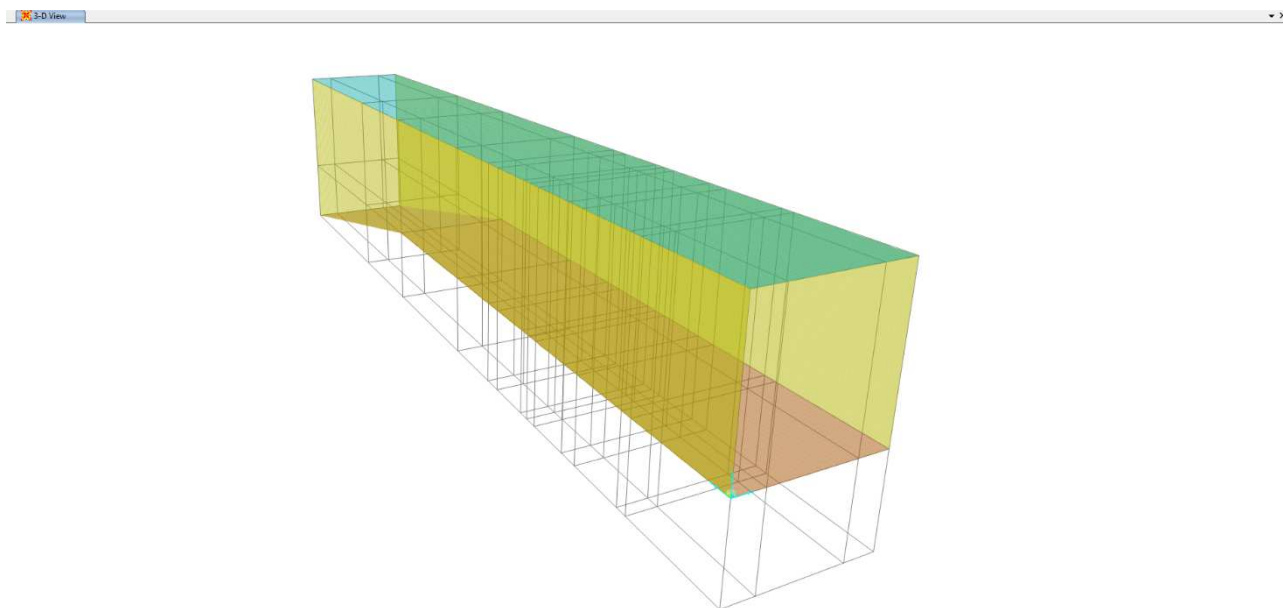


Figura 6.4 Modellazione Canale di alimentazione (Blocco 1)

6.3.1 Platea di fondazione

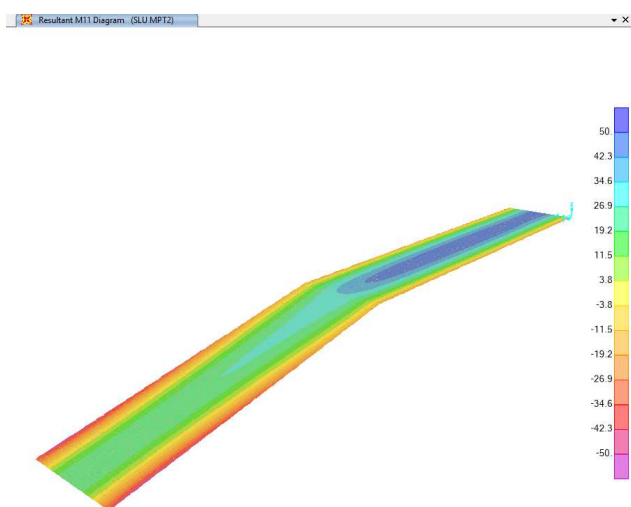


Figura 6.5 SLU FOND.2: M11, max= -52.28 kNm/m

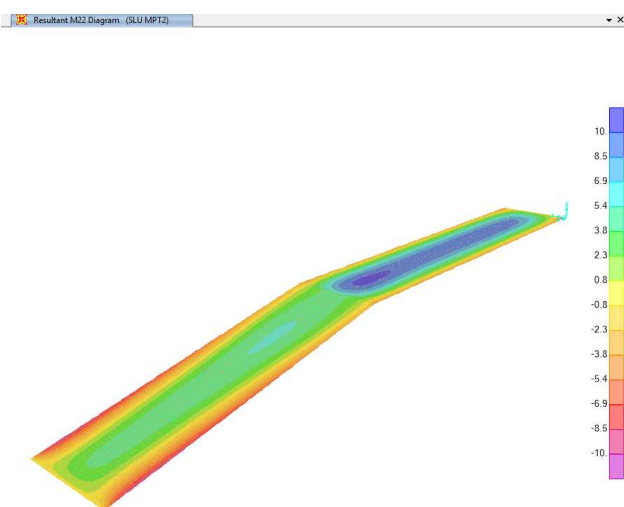


Figura 6.6 SLU FOND.2: M22, max= 10.50 kNm/m

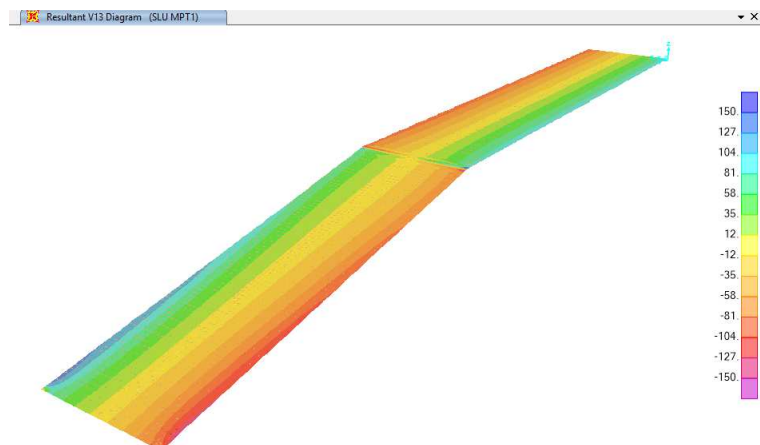


Figura 6.7 Sismica: V13, max= 136.73 kN/m

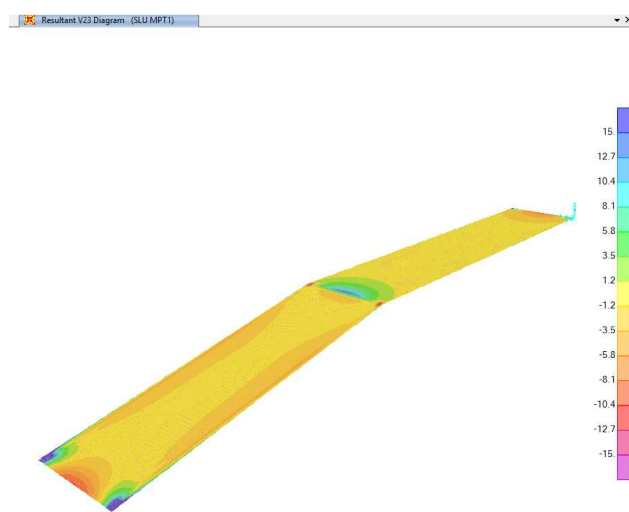


Figura 6.8 SLU. FOND1: V23, max= 13.95 kN/m

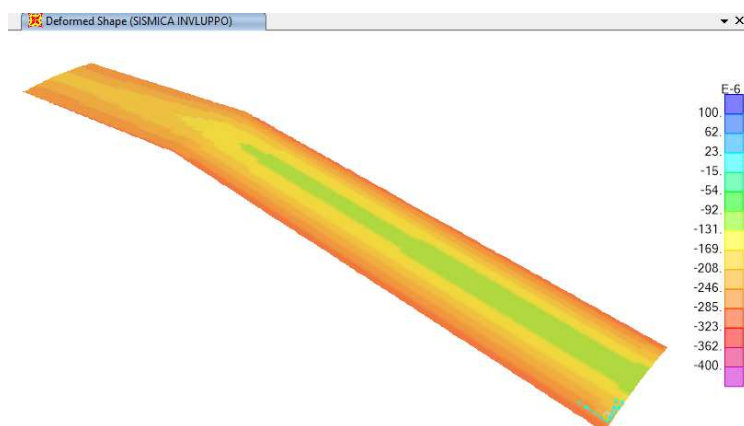


Figura 6.9 Sismica: Uz: max= -360E-6 m

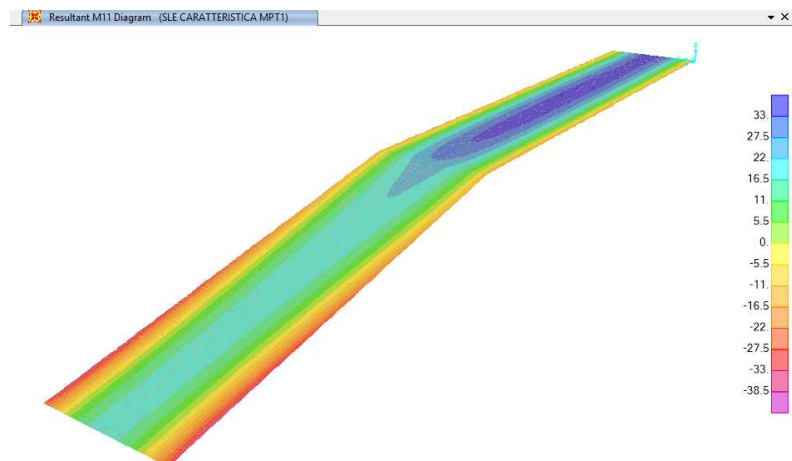


Figura 6.10 R1: M11, max= -38.95 kNm/m

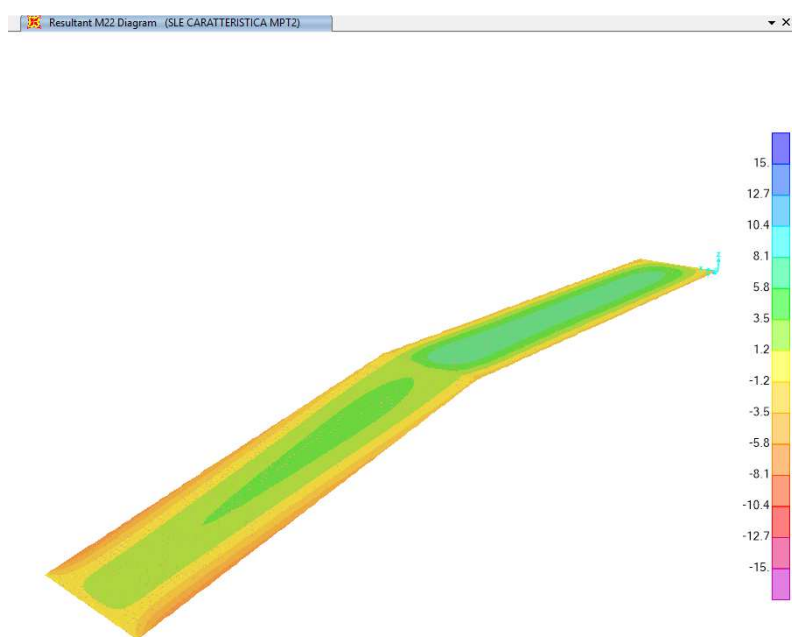


Figura 6.11 R2: M22, max= 7.91 kNm/m

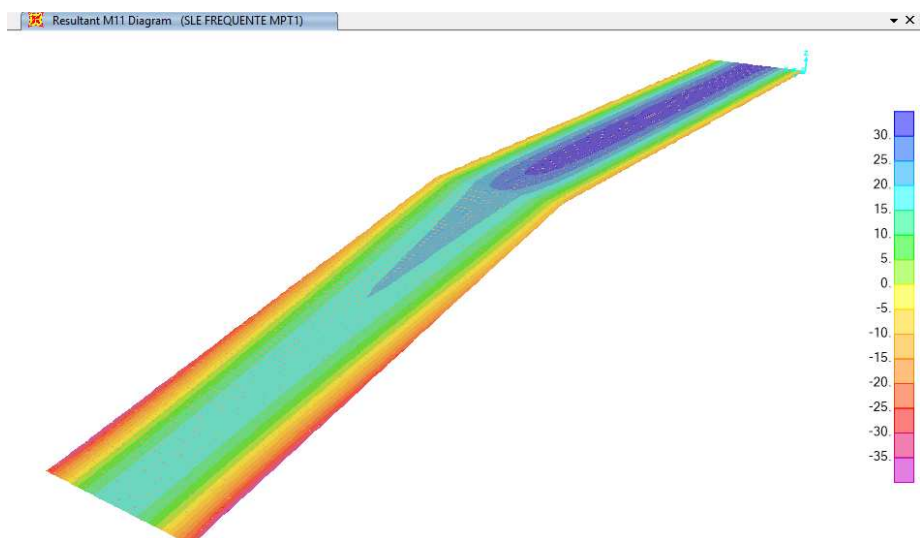


Figura 6.12 F1: M11, max= -38.46 kNm/m

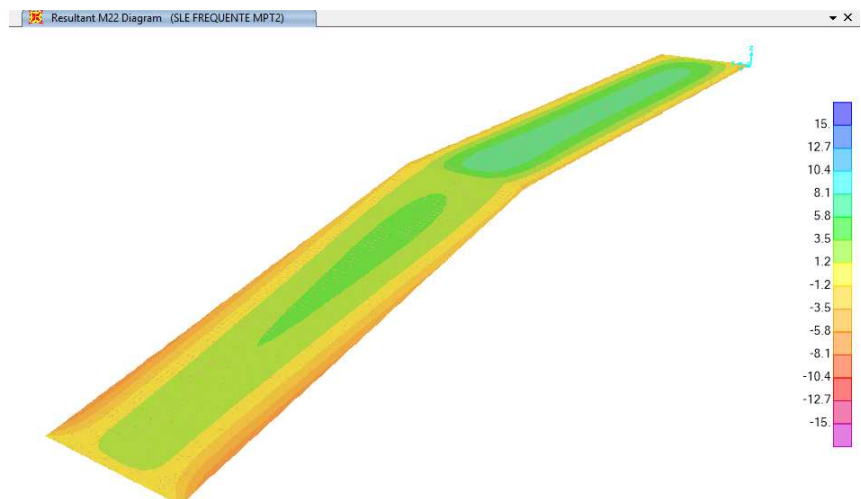


Figura 6.13 F2: M22, max= 7.72 kNm/m

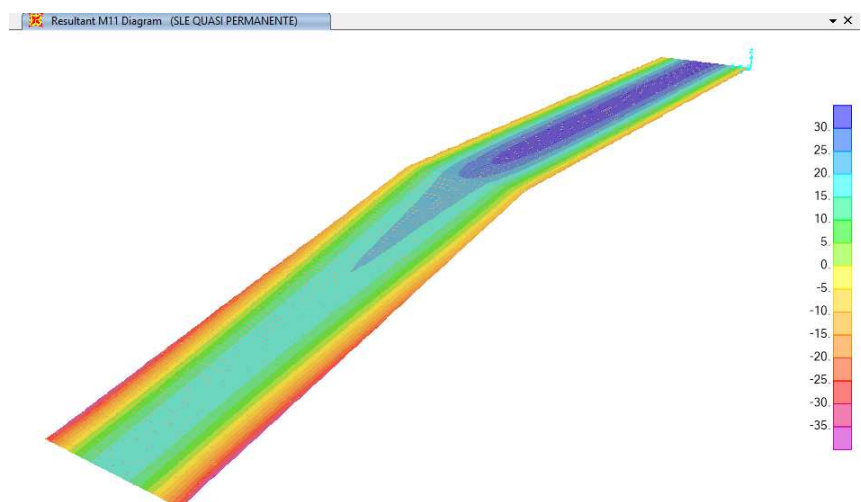


Figura 6.14 QP: M11, max= -38.31 kNm/m

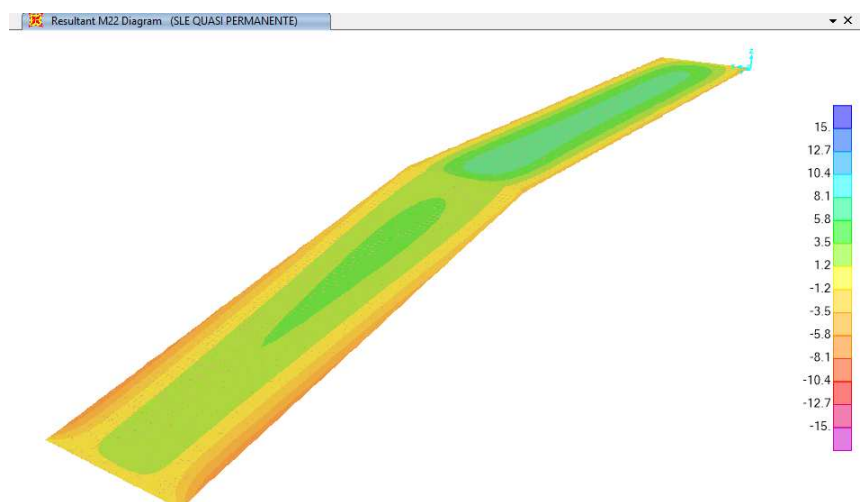


Figura 6.15 QP: M22, max= -7.05 kNm/m

6.3.2 Pareti laterali

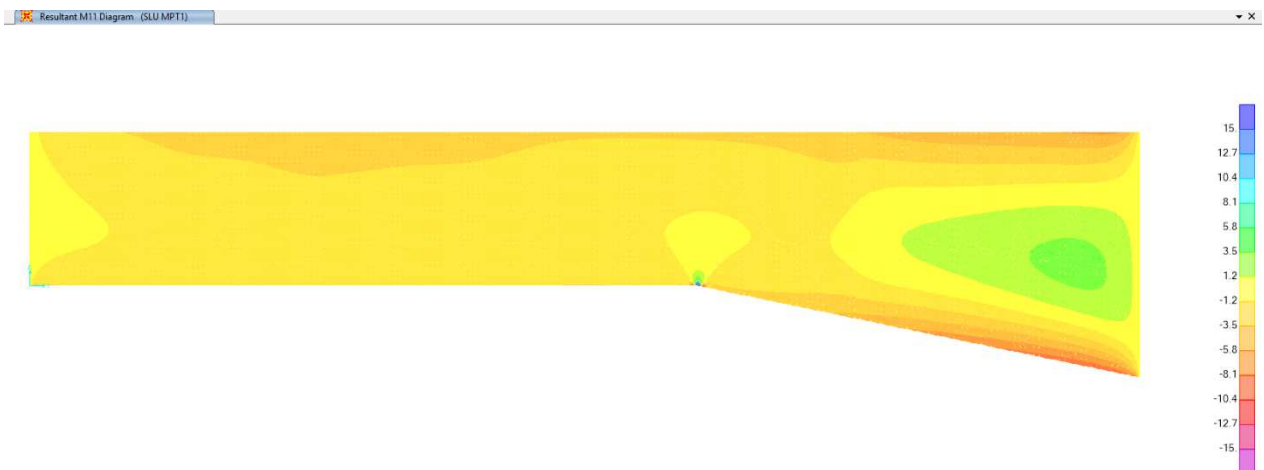


Figura 6.16 SLU FOND.1: M11, max= -12.00 kNm/m

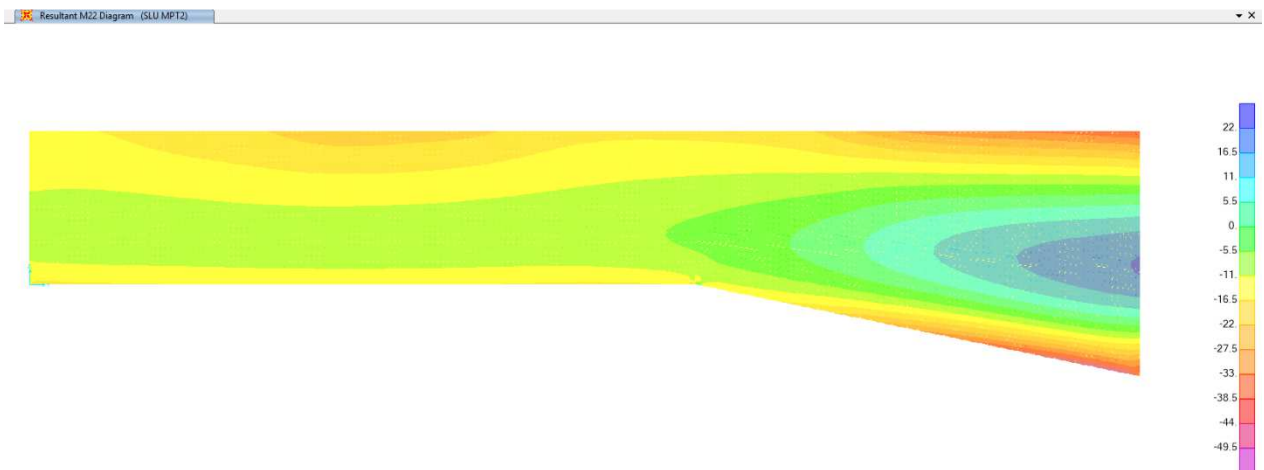


Figura 6.17 SLU FOND.2: M22, max= -51.06 kNm/m

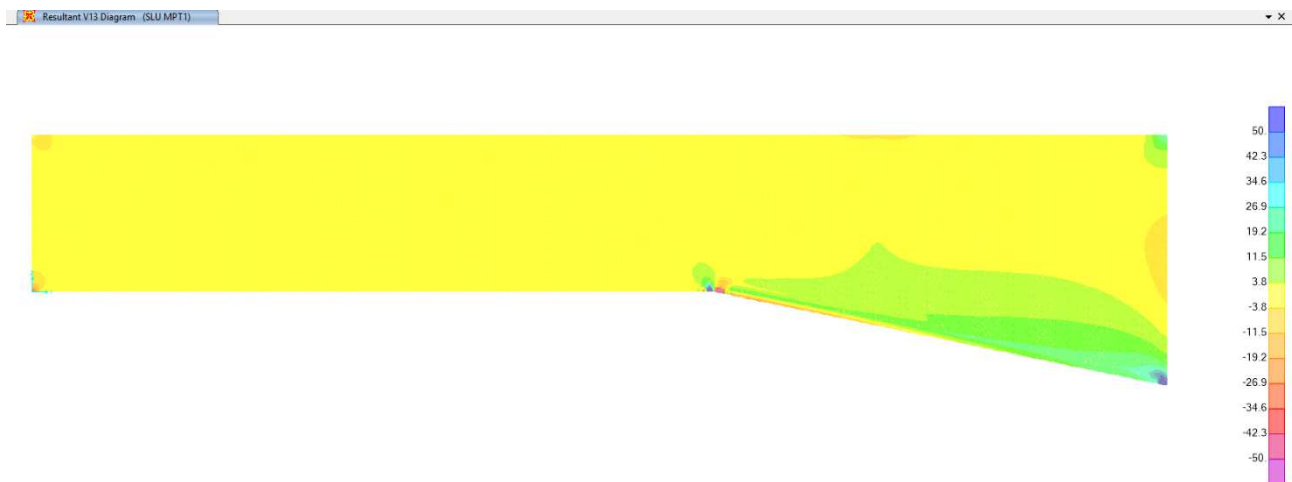


Figura 6.18 SLU FOND.1: V13, max= 46.82 kN/m

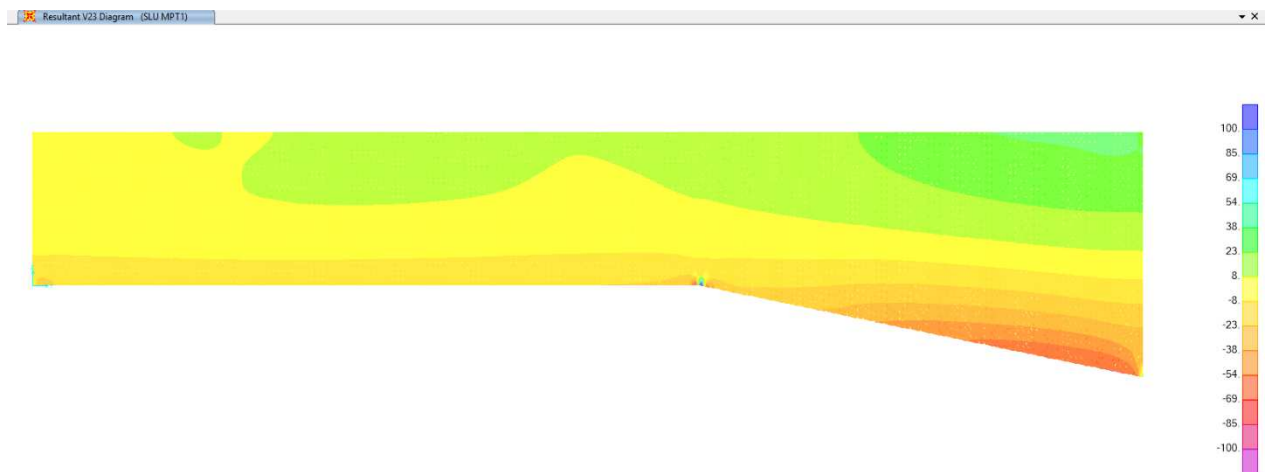


Figura 6.19 SLU. FOND1: V23, max= 85.72 kN/m

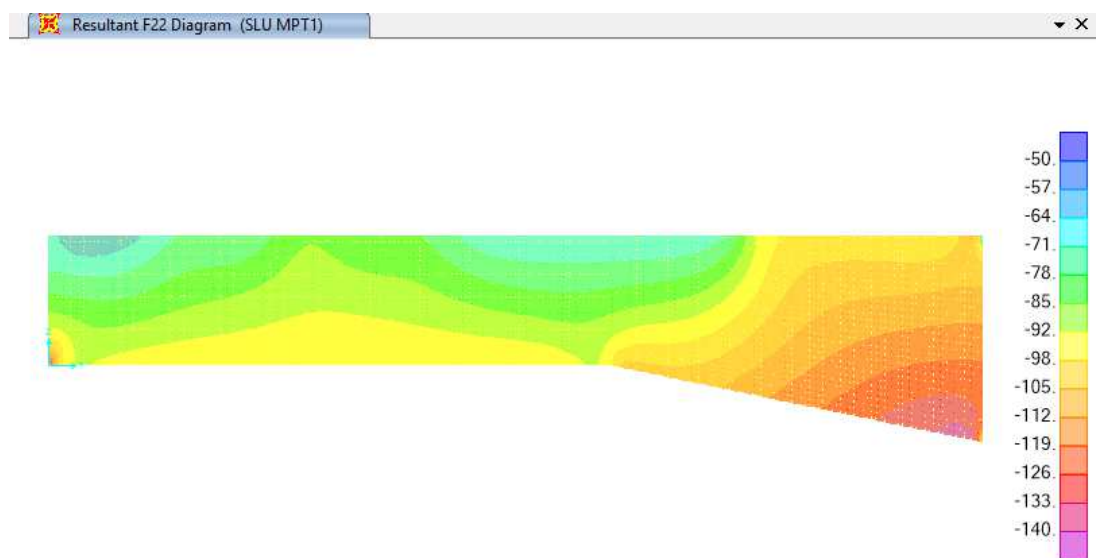


Figura 6.20 SLU FOND.1: F22: max= -145.06 kN/m

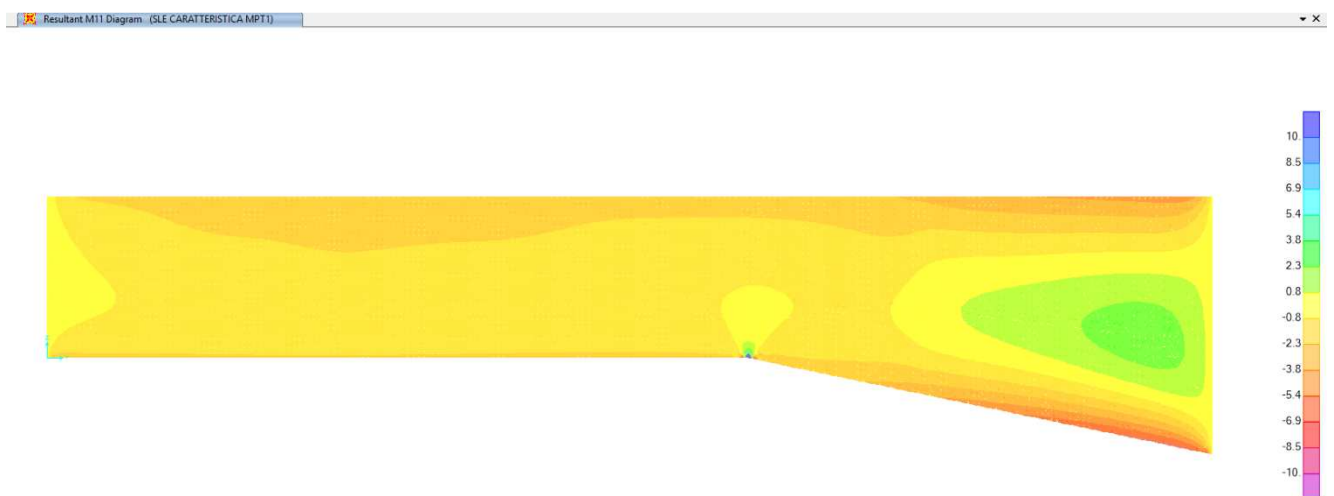


Figura 6.21 R1: M11, max= -8.93 kNm/m

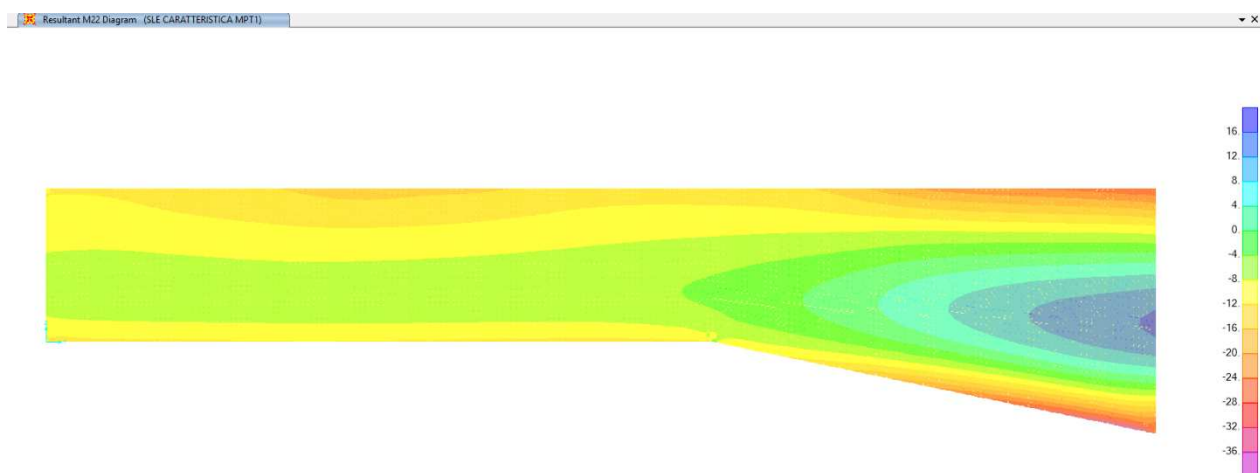


Figura 6.22 R1: M22, max= -38.03 kNm/m

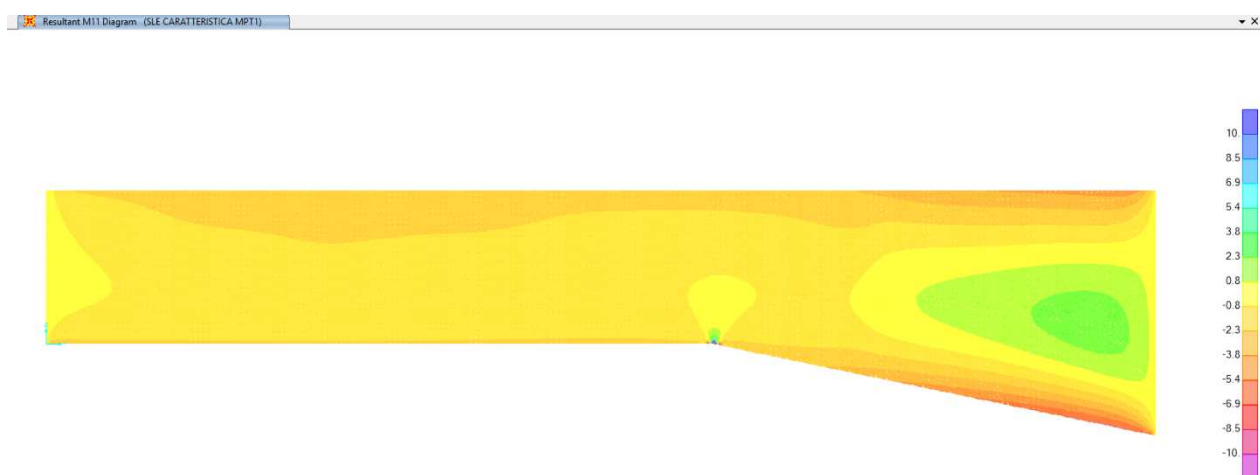


Figura 6.23 F1: M11, max= -8.91 kNm/m

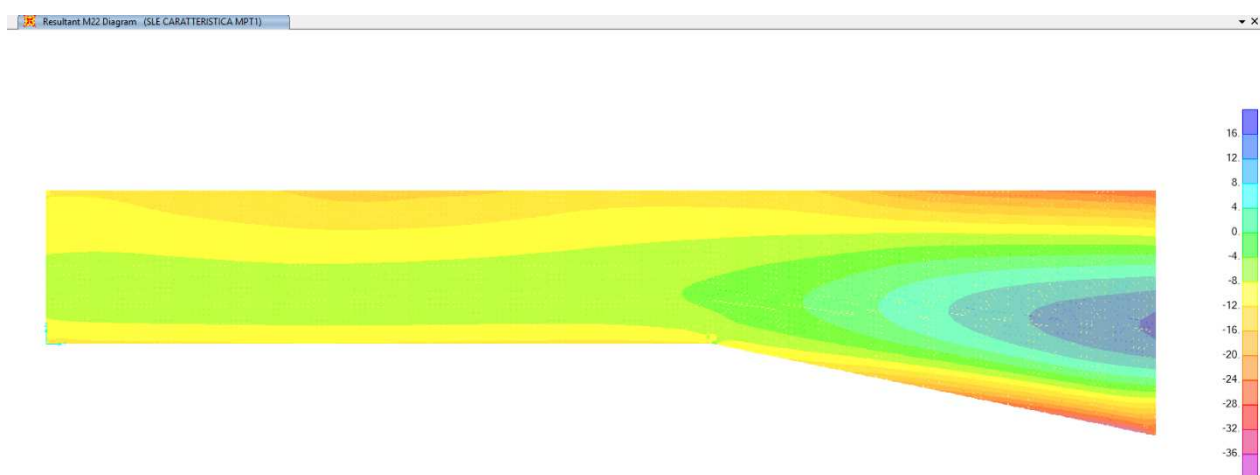


Figura 6.24 F1: M22, max= -37.95 kNm/m

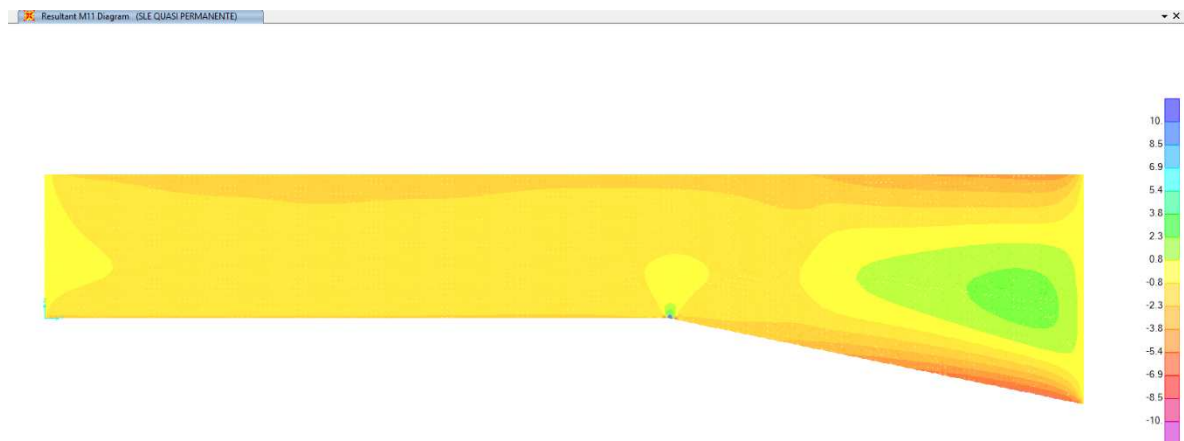


Figura 6.25 QP: M11, max= -8.91 kNm/m

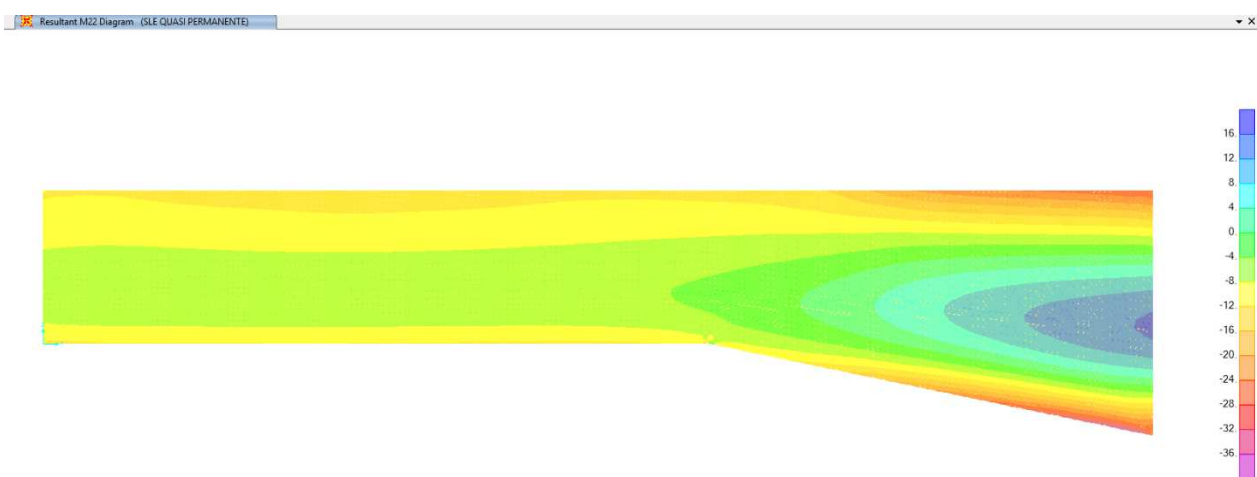


Figura 6.26 QP: M22, max= -37.92 kNm/m

6.3.3 Soletta di copertura

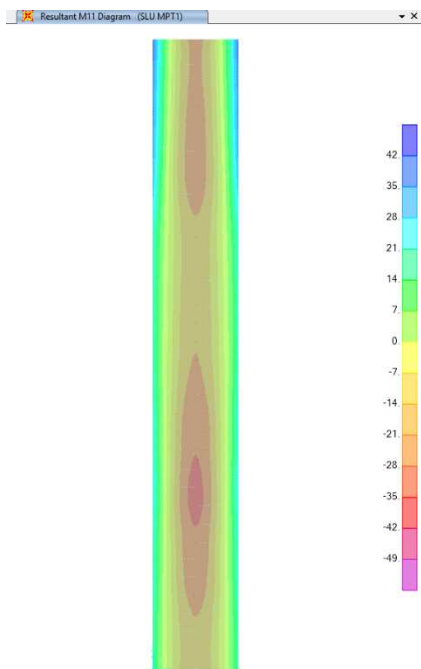


Figura 6.27 SLU FOND.1: M11, max= 43.34 kNm/m

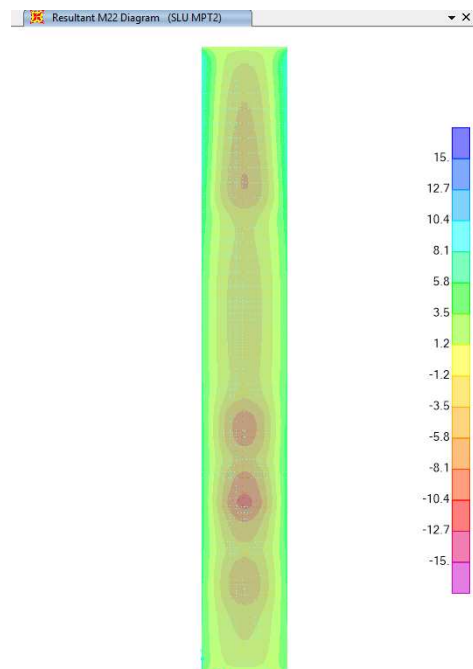


Figura 6.28 SLU FOND.2: M22, max= -10.96 kNm/m

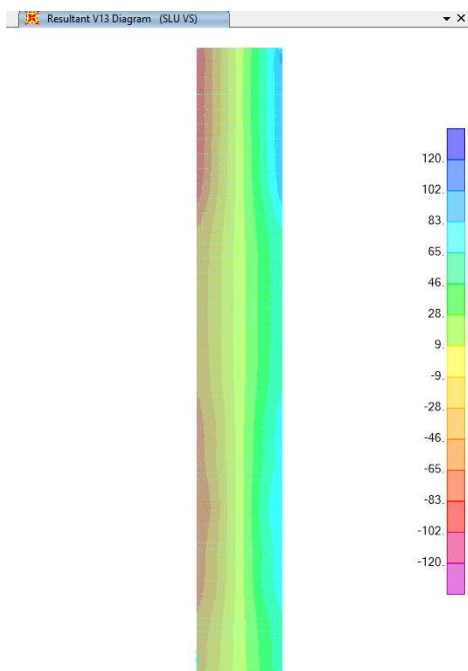


Figura 6.29 SLU FOND.3: V13, max= -108.57 kN/m

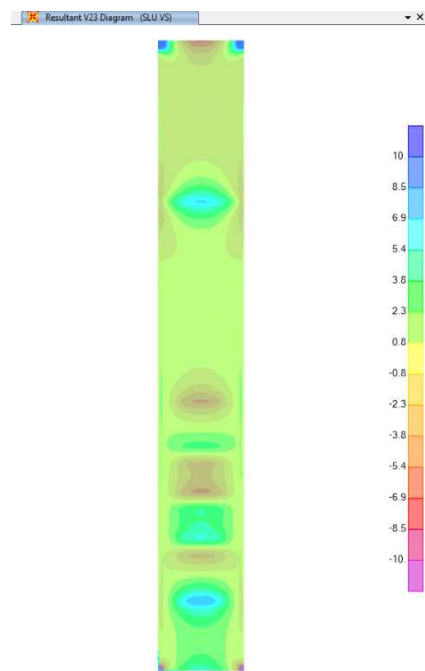


Figura 6.30 SLU FOND.3: V23, max= 8.37 kN/m

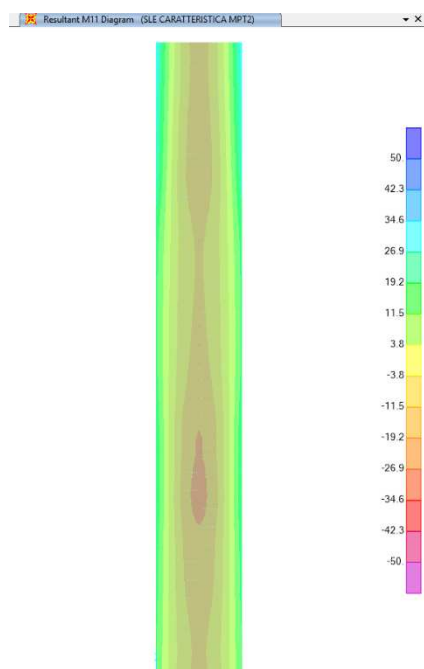


Figura 6.31 R2: M11, max= 32.42 kNm/m

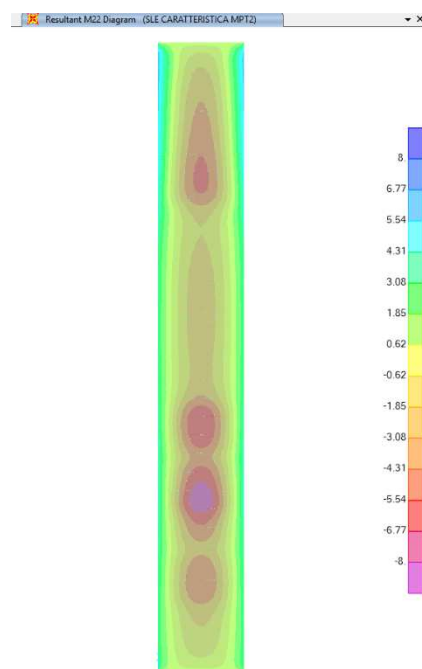


Figura 6.32 R2: M22, max= -7.82 kNm/m

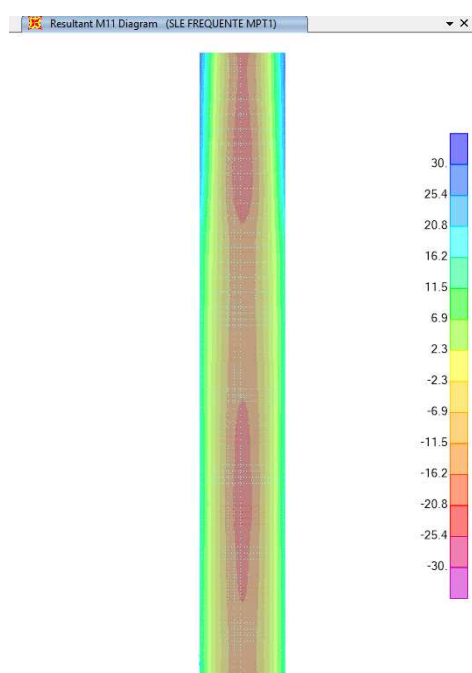


Figura 6.33 F1: M11, max= 32.40 kNm/m

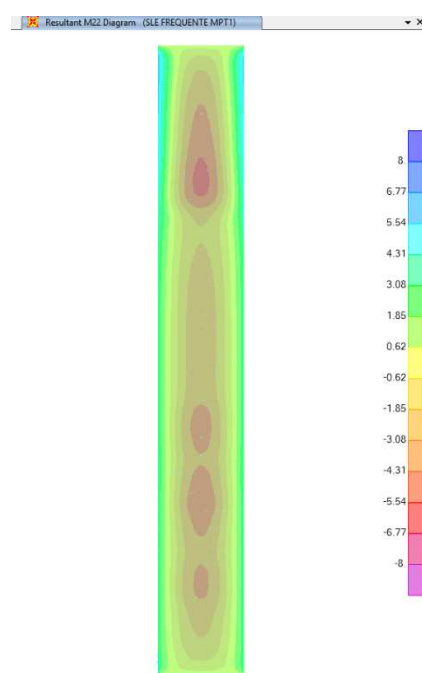


Figura 6.34 F1: M22, max= -6.30 kNm/m

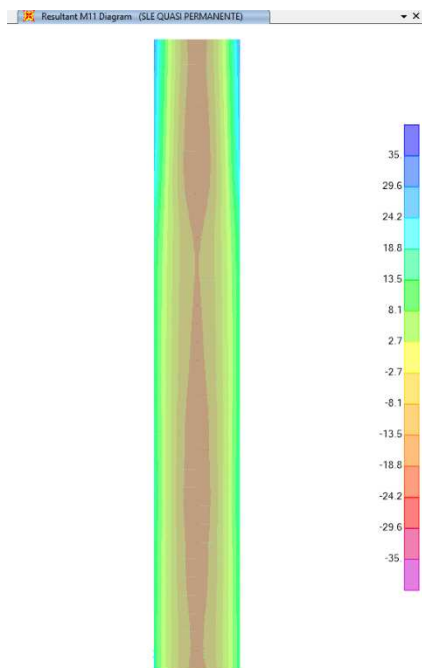


Figura 6.35 QP: M11, max= 32.40 kN/m

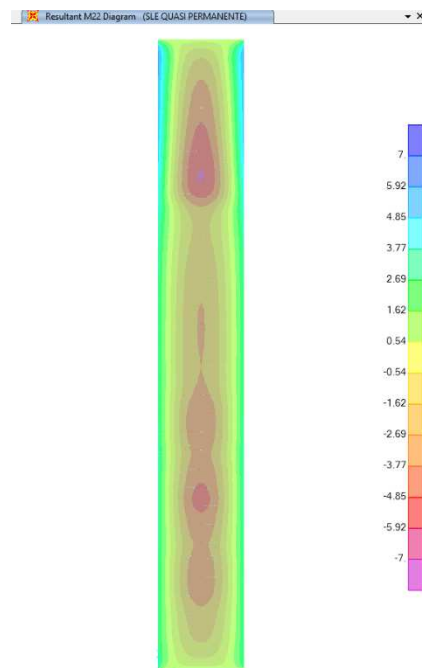


Figura 6.36 QP: M22, max= 6.30 kN/m

6.4 Verifiche effettuate

6.4.1 Verifiche della platea di fondazione

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	10.50	0.00	13.95	0.00
RARA	7.91			
FREQ.	7.22			
Q. PERM.	7.05			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 1 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	36	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 13.95 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 40 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 36 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * p_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 144.91 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.75 \leq 2$$

$$p_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0021 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 4000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 167.40 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.465$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 144.91 \text{ kN} > V_{Ed} = 13.95 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 10.50 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 40 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 36 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	109.14	kNm	>	$M_{Ed} =$	10.50	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	7.91	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				7.57	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				109 248	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.55	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	30.87	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	7.05	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	7.57	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	109 248	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 27.51 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00067 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00008$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 10.81 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.008 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.035	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	7.22	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 15.39 \quad \text{cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 7.57 \quad \text{cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 109\,248 \quad \text{cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 28.18 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00067 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00008$$

$$K_t = 0.4$$

$$h_{c,eff\,1} = 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,2} = (h - x) / 3 = 10.81 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,3} = h / 2 = 20.00 \quad \text{cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff\,i}) * b = 1000.00 \quad \text{cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.008$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \quad \text{cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.036 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.49 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 27.51 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	52.28	0.00	136.73	0.00
RARA	39.95			
FREQ.	38.46			
Q. PERM.	38.31			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 1 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	36	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 136.73 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

con: 2

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 40 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 36 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 144.91 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.75 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0021 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 4000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 167.40 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.465$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 144.91 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 136.73 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 52.28 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 40 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 36 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	109.14	kNm	>	$M_{Ed} =$	52.28	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	39.95	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			7.57	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			109 248	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.77	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	155.92	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	38.31	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm		$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm		$d =$	36	cm
$n =$	15					

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00					
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²				
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	7.57	cm				
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	109 248	cm ⁴				

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 149.52 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00009 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00043$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 10.81 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.008 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.190	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	38.46	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	7.57	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	109 248	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 150.10 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00009 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00043$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 10.81 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \quad \text{cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \quad \text{cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.008 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.191 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 2.66 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 149.52 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

6.4.2 Verifica delle pareti laterali

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	51.06	0.00	65.72	145.06
RARA	38.03			
FREQ.	37.95			
Q. PERM.	37.92			

VERIFICA PARETI BLOCCO 1 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952	
$\beta_2 =$	0.41597	
$\epsilon_{c,2} =$	0.002	
$\epsilon_{cu} =$	0.0035	
$\epsilon_{uk} =$	0.075	
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186	
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675	

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 65.72 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 125.45 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 125.45 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 65.72 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 51.06 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	79.02	kNm	>	$M_{Ed} =$	51.06	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	38.03	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			6.33	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			53 751	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	4.48	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	208.77	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	37.92	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.33	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	53 751	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 208.17 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00035 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00059$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 789.06 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.200	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	37.95	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.33	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	53 751	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 208.33 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00035 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00060$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 789.06 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.226	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	4.46	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	208.17	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	------------------	--------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	12.00	0.00	46.82	0.00
RARA	8.93			
FREQ.	8.91			
Q. PERM.	8.91			

VERIFICA PARETI BLOCCO 1 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 46.82 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con: 2

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * p_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$p_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 46.82 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 12.00 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	12.00	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	8.93	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				5.64	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				41 370	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.22	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	65.93	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	8.91	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 65.79 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00057 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00019$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.081	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	8.91	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ 12	+	Φ =	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ 12	+	Φ =	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 65.79 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00057 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00019$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.081 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 1.21 \text{ MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 65.79 \text{ MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

6.4.3 Verifiche della soletta di copertura

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	10.96	0.00	8.37	0.00
RARA	7.82			
FREQ.	6.30			
Q. PERM.	6.30			

VERIFICA SOLETTA DI COPERTURA BLOCCO 1 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952	
$\beta_2 =$	0.41597	
$\epsilon_{c,2} =$	0.002	
$\epsilon_{cu} =$	0.0035	
$\epsilon_{uk} =$	0.075	
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186	
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675	

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 8.37 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 26 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * p_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$p_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \text{ kN} > V_{Ed} = 8.37 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 10.96 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	10.96	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	7.82	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.07	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	57.74	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	6.30	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 46.52 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00066 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00013$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.057	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	6.30	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 46.52 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00066 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00013$$

$$\begin{aligned} K_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.057 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.86 \text{ MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 46.52 \text{ MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	43.34	0.00	108.57	0.00
RARA	32.42			
FREQ.	32.40			
Q. PERM.	32.40			

VERIFICA SOLETTA DI COPERTURA BLOCCO 1 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 108.57 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \text{ cm}^2$$

con: $\gamma_c = 2$

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 26 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 125.45 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 125.45 \text{ kN} > V_{Ed} = 108.57 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 43.34 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	79.02	kNm	>	$M_{Ed} =$	43.34	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	32.42	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			6.33	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			53 751	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	3.82	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	177.97	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	32.40	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.33	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	53 751	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 177.86 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00021 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00051$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 789.06 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.193	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	32.40	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.33	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	53 751	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 177.86 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00021 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00051$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.89 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \quad \text{cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 789.06 \quad \text{cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.193 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 3.81 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 177.86 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

7 Camera di alloggiamento delle idrovore (Blocco 2)

7.1 Descrizione del blocco

La camera di alloggiamento delle idrovore si configura come il blocco strutturalmente più complesso. La platea di fondazione del blocco 2 avrà dimensioni in pianta 8.40x12.10 m per uno spessore di 100 cm; le pareti perimetrali saranno caratterizzate da spessori differenti in base alle quote di riferimento:

- QUOTA: 64.80 m s.l.m. - 51.40 m s.l.m. spessore pareti esterne costante pari a 80 cm
- QUOTA: 51.40 m s.l.m. - 54.20 m s.l.m. spessore pareti esterne costante pari a 50 cm
- QUOTA: 54.20 m s.l.m. - 57.92 m s.l.m. spessore pareti esterne costante pari a 30 cm

Il blocco presenterà una soletta a quota 51.40 m s.l.m. la quale costituirà il fondo del tratto iniziale di canale di scarico superiore; essa avrà dimensioni planimetriche 2.50x7.30 m e spessore pari a 30 cm. I vani di alloggiamento delle pompe saranno ricavati mediante quattro setti verticali di spessore pari a 30 cm i quali si svilupperanno per tutta l'altezza del blocco 2, pari a 11.12 m. La platea di fondazione verrà gettata sopra uno strato di magrone di spessore 10 cm. Alla soletta di copertura della camera si accederà per mezzo della strada di servizio, che costeggerà la parete lato fiume del manufatto. I materiali impiegati per la realizzazione dell'opera sono descritti al Capitolo 5.3.

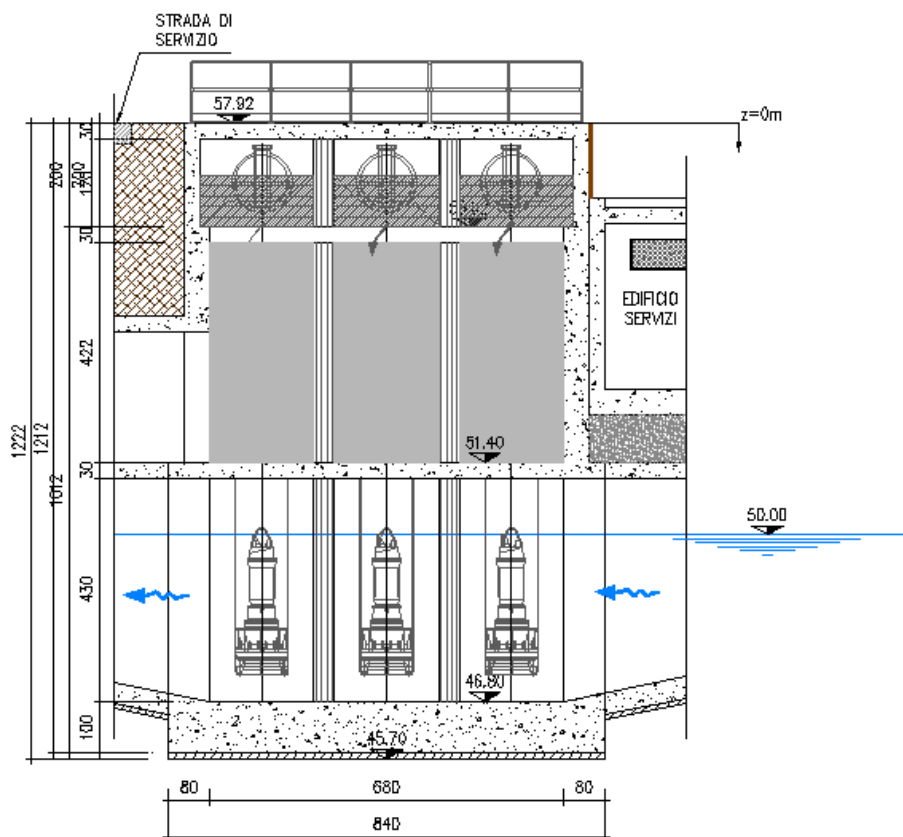


Figura 7.1 Camera di alloggiamento delle idrovore (blocco 2) - Sezione longitudinale

7.2 Descrizione dei carichi e delle loro combinazioni

In accordo con la normativa vigente (NTC18, §2.6), le verifiche sono state condotte nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) e degli stati limite di esercizio (SLE), per garantire la stabilità e l'efficienza prestazionale delle opere in progetto.

Per le verifiche agli stati limite è stato applicato l'Approccio 2, con combinazione A1+M1+R3 (NTC18, §6.5.3). I valori dei coefficienti parziali adottati sono indicati nelle tabelle NTC18, Tabb. 6.2.I, 6.2.II, 6.5.I, riportate al Capitolo 6.2.

Oltre al peso proprio degli elementi strutturali, sono stati considerati i carichi di seguito elencati. Cautelativamente non è stata considerata la presenza di acqua all'interno del manufatto, ove favorevole; analogamente, si è considerato il terreno come completamente saturo, con livello di falda posto alla quota della strada di servizio a 57.92 m s.l.m.

Nella tabella sottostante sono riportate le azioni considerate e le combinazioni con le quali sono state applicate durante la modellazione del blocco, secondo quanto disposto dalla normativa (NTC, §2.5.2, §2.5.3 - Tab. 2.5.I, categoria G).

Azioni	Coefficienti delle combinazioni								
	SLU FONDAMENTALE		SLE CARATTERISTICA (RARA)		SLE FREQUENTI		SLE QUASI.P.	SISMICA	ECCEZIONALE
	SLU FOND.1	SLU FOND.2	R1	R2	F1	F2	QP	SISMA	ECC
Permanenti strutturali									
Elementi strutturali									
Peso proprio	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Terreno e acqua									
Spinta del terreno immerso	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Spinta dell'acqua in magra	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Sottospinta dell'acqua in magra	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Permanenti non strutturali									
Idrovore									
Peso proprio	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Variabili									
Persone e mezzi sulla soletta									
Sovraccarico distribuito	1.50	1.50 · 0.70	0.70	1.00	0.50	0.30	0.30	0.30	0.30
Sovraccarico concentrato	1.50	1.50 · 0.70	0.70	1.00	0.50	0.30	0.30	0.30	0.30
Mezzi sulla strada									
Sovrappinta su pareti	1.50	1.50 · 0.70	0.70	1.00	0.50	0.30	0.30	0.30	0.30
Neve									
Sovraccarico distribuito	1.50 · 0.50	1.50	1.00	0.50	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00
Sisma									
Elementi strutturali									
Forze inerziali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
Terreno e acqua									
Sovrappinta su pareti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
Eccezionali									
Acqua									
Spinta dell'acqua in piena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Sottospinta dell'acqua in piena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Peso dell'acqua in piena	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabella 7.1 Camera di alloggiamento delle idrovore (blocco 2) - Combinazioni e coefficienti parziali

7.2.1 Azioni dovute al terreno e all'acqua

Considerando le indagini descritte nella relazione "R02 – Relazione geologica" e i parametri caratteristici dei terreni riportati nella "R03 – Relazione geotecnica e sismica", sono stati assunti i valori per i parametri di interesse delle analisi strutturali riportati in Tabella 6.2.

- Spinta del terreno immerso (carico permanente strutturale sfavorevole)

La pressione esercitata dalle terre è stata calcolata sulla base della seguente formula

$$q_t(z) \cong \gamma'_t \cdot k_A \cdot z - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_A}$$

dove:

- z è la quota del terreno rispetto al piano campagna;
- γ'_t è il peso del terreno in condizioni immerse;
- γ_w è il peso dell'acqua,
- $k_A = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'}$ è il coefficiente di spinta attiva del terreno;
- ϕ' è l'angolo di attrito del terreno;
- c' è la coesione efficace del terreno.

Si ricavano così i valori limite della distribuzione lineare di q_t :

$$q_t(z = 0.00 \text{ m}) = 4.14 \cdot 0.00 - 15.45 \cong -15.45 \text{ kPa}$$

$$q_t(z = 12.20 \text{ m}) = 4.14 \cdot 12.20 - 15.45 \cong 35.05 \text{ kPa}$$

Questi valori fanno riferimento alla parete lato fiume dell'opera, quella su cui si esercitano le pressioni maggiori. La pressione del terreno immerso sulle altre pareti diminuisce gradualmente, seguendo la forma dell'argine lato campagna.

- Spinta dell'acqua in magra (carico permanente strutturale sfavorevole)

Come già indicato, il terreno a ridosso delle pareti perimetrali della struttura è stato assunto in condizioni sature, sebbene il livello della falda sia decisamente più basso, a quota 50 m s.l.m. Il contributo in pressione dato dall'acqua è quindi dato da:

$$q_w(z) \cong \gamma_w \cdot z$$

Si ricava quindi la distribuzione di $q_w(z)$, linearmente crescente all'aumentare della coordinata z e con valore massimo:

$$q_w(z = 12.20 \text{ m}) = 9.81 \cdot 12.20 \cong 119.70 \text{ kPa}$$

Questo valore fa riferimento alla parete lato fiume dell'opera, quella su cui si esercitano le pressioni maggiori. La pressione dell'acqua contenuta nel terreno saturo sulle altre pareti diminuisce gradualmente, seguendo la forma dell'argine lato campagna.

- Sottospinta dell'acqua in magra (carico permanente strutturale sfavorevole)

La sottospinta dell'acqua data dal tirante di falda posto a quota 50 m s.l.m. è assunta costante su tutta l'impronta della fondazione, e vale:

$$u \cong \gamma_w \cdot (50.00 - 45.70) \cong 9.81 \cdot 4.30 \cong 42.18 \text{ kPa}$$

7.2.2 Azioni dovute alla presenza delle idrovore

- Peso proprio delle idrovore (carico permanente non strutturale sfavorevole)

Il peso proprio di ognuna delle 6 idrovore previste all'interno della struttura in questione è dato dalla somma dei pesi dei suoi componenti, l'elettropompa, il tubo contenitore e lo scarico con clapet, che valgono rispettivamente:

$$p_{I_1} \cong 2350 \text{ kg}$$

$$p_{I_2} \cong 3160 \text{ kg}$$

$$p_{I_3} \cong 1250 \text{ kg}$$

$$p_I \cong p_{I_1} + p_{I_2} + p_{I_3} \cong 6760 \text{ kg} \cong 66.30 \text{ kN}$$

Il peso delle idrovore è sostenuto dalle solette poste a quota 54.00 m s.l.m.

7.2.3 Azioni dovute alle persone e ai mezzi sulla soletta di copertura

Il contributo allo stato di carico dato dalle persone e dai mezzi che possono accedere alla soletta di copertura è stato considerato in ottemperanza di quanto disposto dalla normativa NTC18, Tab. 3.1.II, già riportata al Capitolo 6.2.3. Per definire la configurazione delle impronte su cui il carico viene applicato, è stata considerata la tabella delle NTC18, Tab. 5.1.IX. riportata al Capitolo 6.2.4.

Per il caso in questione è stata considerata la categoria d'uso G e la tipologia di pneumatico C. Viene considerato in questa analisi il caso più critico, in cui uno degli assi del mezzo d'opera che accede alla struttura gravi in campata alla soletta, mentre l'altro generi un sovraccarico sul terreno a ridosso della parete lato fiume. Lo schema è rappresentato in Figura 7.2.

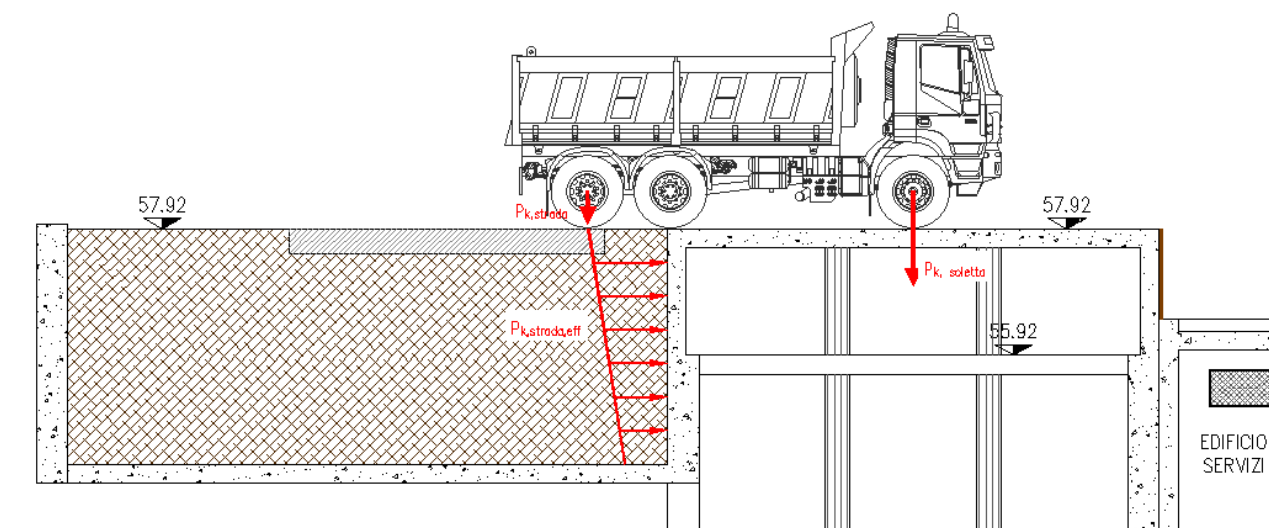


Figura 7.2 Esempificazione dello stato di carico indotto da un mezzo d'opera sulla soletta di copertura - Camera di alloggiamento delle idrovore (blocco 2)

- **Sovraccarico concentrato** (carico variabile sfavorevole)

Il carico concentrato dato dalle ruote dei mezzi transitanti sulla soletta $h_{k_{soletta}}$ è applicato, secondo quanto normato, su due impronte di 320x270mm distanti assialmente 2.00 m. Il carico su ogni impronta $p_{k_{soletta}}$ è pari a:

$$h_{k_{soletta}} \cong 50.00 \text{ kN} \rightarrow p_{k_{soletta}} \cong \frac{50.00}{0.27 \cdot 0.32} \cong 580.00 \text{ kPa}$$

- **Sovraccarico distribuito** (carico variabile sfavorevole)

Con riferimento alla categoria d'uso dell'opera G, il valore dei sovraccarichi risultanti dalla presenza di persone e mezzi sulla soletta è pari a:

$$p_{k_{soletta,2}} \cong 5.00 \text{ kPa}$$

7.2.4 Azioni dovute ai mezzi sulla strada di servizio

Il carico $p_{k_{strada}}$ (Figura 7.2), relativo all'asse del mezzo d'opera gravante sul terreno che costeggia la strada di servizio, è stato valutato come distribuito su una superficie larga 2.50m, e genera una sovrappressione $q_{k_{strada}}(z)$ sulle pareti laterali della struttura.

$$p_{k_{strada}} \cong \frac{50.00 \cdot 2 \text{ kN}}{2.50 \text{ m}} = 40.00 \text{ kPa}$$

- **Sovrappinta sulle pareti** (carico variabile sfavorevole)

La distribuzione dei valori della sovrappressione lungo la parete è data dall'interpolazione dei due valori limite, calcolati previa la definizione del valore effettivo del carico verticale trasmesso dal terreno, $p_{k_{strada_{eff}}}$, secondo la schematizzazione introdotta al Capitolo 6.2.2.

$$q_{k_{strada}}(z = 0 \text{ m}) \cong p_{k_{strada}}(z = 0 \text{ m}) \cdot k_A \cong 40.00 \cdot 0.46 \cong 18.40 \text{ kPa}$$

$$q_{k_{strada}}(z = 3.70 \text{ m}) \cong p_{k_{strada_{eff}}}(z = 3.70 \text{ m}) \cdot k_A \cong 14.00 \cdot 0.46 \cong 6.44 \text{ kPa}$$

7.2.5 Azioni dovute alla neve

La presenza della neve è stata considerata definendo il seguente carico distribuito, in accordo con la normativa (NTC18, §3.4):

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_f \cdot C_{fe} \cdot C_{ft} \quad [3.4.1]$$

dove:

q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, di cui al § 3.4.2;

μ_f è il coefficiente di forma della copertura, di cui al § 3.4.3;

C_{fe} è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.4;

C_{ft} è il coefficiente termico di cui al § 3.4.5.

Si assume che il carico della neve agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Il carico della neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento della neve al suolo, per località poste a quota inferiore a 1500 m sul livello del mare, non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate nel seguito, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni per le varie zone indicate nella Fig. 3.4.1. Tale zonazione non tiene conto di aspetti specifici e locali che, se necessario, devono essere definiti singolarmente.



Nelle espressioni seguenti, l'altitudine di riferimento a_s (espressa in m) è la quota del suolo sul livello del mare nel sito dove è realizzata la costruzione.

Zona I - Alpina

Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza:

$$\begin{aligned} q_{sk} &= 1,50 \text{ kN/m}^2 & a_s &\leq 200 \text{ m} \\ q_{sk} &= 1,39 [1 + (a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2 & a_s &> 200 \text{ m} \end{aligned} \quad [3.4.2]$$

Zona I - Mediterranea

Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese:

$$\begin{aligned} q_{sk} &= 1,50 \text{ kN/m}^2 & a_s &\leq 200 \text{ m} \\ q_{sk} &= 1,35 [1 + (a_s/602)^2] \text{ kN/m}^2 & a_s &> 200 \text{ m} \end{aligned} \quad [3.4.3]$$

I coefficienti di forma delle coperture dipendono dalla forma stessa della copertura e dall'inclinazione sull'orizzontale delle sue parti componenti e dalle condizioni climatiche locali del sito ove sorge la costruzione.

In assenza di dati suffragati da opportuna documentazione, i valori nominali del coefficiente di forma μ_1 delle coperture ad una o a due falde possono essere ricavati dalla Tab. 3.4.II, essendo α , espresso in gradi sessagesimali, l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale.

Tab. 3.4.II - Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Il coefficiente di esposizione C_E tiene conto delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati di questo coefficiente sono forniti in Tab. 3.4.I per diverse classi di esposizione. Se non diversamente indicato, si assumerà $C_E = 1$.

Tab. 3.4.I – Valori di C_E per diverse classi di esposizione

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Il coefficiente termico tiene conto della riduzione del carico della neve, a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente dipende dalle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere posto $C_t = 1$.

- Peso della neve sulla soletta (carico variabile sfavorevole)

Considerando i valori dei coefficienti indicati dalla normativa e soprariportati, si ottiene:

$$q_s \cong q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t \cong 1.50 \cdot 0.80 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cong 1.20 \text{ kPa}$$

7.2.6 Azioni dovute a sisma agente sulla struttura

Le analisi sismiche, di cui al Capitolo 5.4, hanno permesso la stima dei coefficienti sismici, utili ora per la valutazione delle forze inerziali e delle sovraspinte agenti sulla struttura in caso di sisma.

- Forze inerziali degli elementi strutturali

Gli effetti del sisma sulle parti strutturali dell'opera sono simulati mediante l'applicazione di carichi gravitazionali, dati dal prodotto del peso di ogni elemento per il relativo coefficiente sismico. L'effetto dell'azione sismica è stato simulato attraverso l'involuppo delle azioni agenti nelle 4 direzioni planari (come da normativa NTC18, §7.3.5).

- Sovraspinta del terreno e dell'acqua sulle pareti

Le azioni agenti sulle pareti ricevono, in condizioni sismiche, un incremento dato dal valore caratteristico moltiplicato per il coefficiente sismico k_h .

7.2.7 Azioni dovute a eventi eccezionali

La condizione eccezionale di piena duecentennale del Fiume Po, con tirante pari a 56.92 m s.l.m., comporta le seguenti azioni sulla struttura di progetto (non sono state considerate, ove favorevoli alla stabilità, le azioni indotte dall'acqua all'interno del manufatto):

- Spinta dell'acqua in piena

Il terreno in condizione di piena viene considerato completamente saturo, come già nelle condizioni di magra. Il contributo in pressione dato dall'acqua è quindi dato da:

$$q_w(z) \cong \gamma_w \cdot h$$

Si ricava la distribuzione di $q_w(h)$, linearmente crescente all'aumentare della altezza d'acqua h (con valore nullo al valore 1.00m della coordinata z) e con valore massimo pari a:

$$q_w(h = 11.20 \text{ m}) = 9.81 \cdot 11.20 \cong 109.90 \text{ kPa}$$

Questo valore fa riferimento alla parete lato fiume dell'opera, quella su cui si esercitano le pressioni maggiori. La pressione dell'acqua contenuta nel terreno saturo sulle altre pareti diminuisce gradualmente, seguendo la pendenza lato campagna dell'argine.

- Sottospinta dell'acqua in piena

La sottospinta dell'acqua, data dal tirante di falda posto a quota 56.92 m s.l.m. lato fiume, e coincidente con il piano campagna dalla parte opposta dell'argine (come rappresentato in Figura 7.3), è assunta variabile sull'impronta della fondazione.

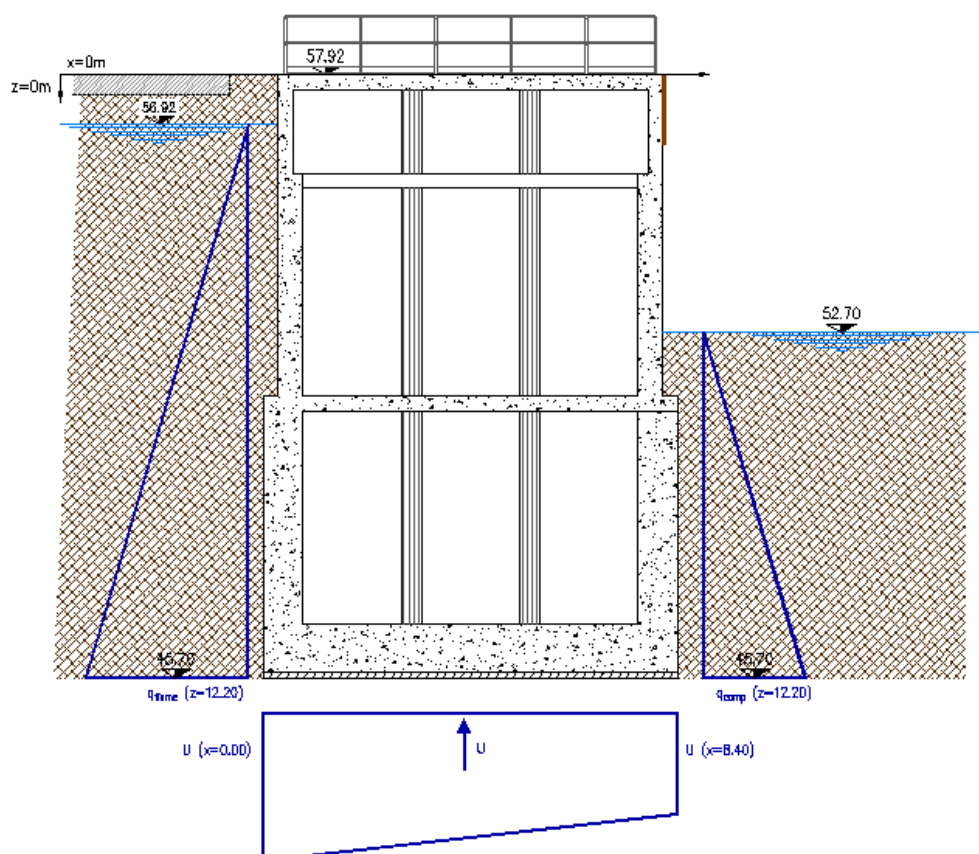


Figura 7.3 Schematizzazione della pressione dell'acqua in condizioni di piena - Camera di alloggiamento delle idrovore (blocco 2)

Considerando la coordinata x con origine dall'estremità lato fiume della camera di alloggiamento e diretta verso il lato campagna, la sottospinta vale:

$$U(x = 0) \cong \gamma_w \cdot h(x = 0) \cong 9.81 \cdot 11.20 \cong 109.90 \text{ kPa}$$

$$U(x = 8.40 \text{ m}) \cong \gamma_w \cdot h(x = 8.40) \cong 9.81 \cdot 7.00 \cong 68.70 \text{ kPa}$$

- Peso dell'acqua sulle solette in piena

Sulle solette poste alle quote 51.40 m s.l.m. e 55.92 m s.l.m. si sviluppano, in caso di piena, pressioni pari rispettivamente a:

$$u(h = 5.52) \cong \gamma_w \cdot h \cong 9.81 \cdot 5.52 \cong 55.20 \text{ kPa}$$

$$u(h = 1.00) \cong \gamma_w \cdot h \cong 9.81 \cdot 1.00 \cong 9.81 \text{ kPa}$$

- Spinta dell'acqua sulle pareti del canale di scarico in piena

Le pareti che delimitano il canale di scarico ricevono una pressione pari a:

$$u(h = 1.00) \cong \gamma_w \cdot h \cong 9.81 \cdot 1.00 \cong 9.81 \text{ kPa}$$

$$u(h = 5.52) \cong \gamma_w \cdot h \cong 9.81 \cdot 5.52 \cong 55.20 \text{ kPa}$$

7.3 Modellazione e risultati delle analisi

Applicando ai valori caratteristici ricavati nel Capitolo 7.2 i coefficienti delle diverse combinazioni riportati in Tabella 7.1, si ottengono i valori di progetto delle azioni con cui sono state eseguite le verifiche strutturali. Il comportamento del suolo, come specificato al Capitolo 4, è stato modellato considerando un comportamento cedevole, secondo il modulo di rigidezza di Winkler riportato anch'esso in Tabella 6.1. Nei paragrafi che seguono vengono rappresentate le distribuzioni degli sforzi sulle diverse parti strutturali e nelle diverse combinazioni di carico; nelle didascalie vengono indicati il caso più critico osservato e i valori massimi di progetto per ogni combinazione (SLU Fondamentale, SLE Caratteristica – Rara, SLE Frequenti, SLE Quasi Permanenti, Sismica, Eccezionale) i quali saranno considerati al Capitolo 7.4 per le verifiche e i dimensionamenti. Cautelativamente, l'azione assiale è stata trascurata nelle verifiche a flessione degli elementi strutturali compressi.

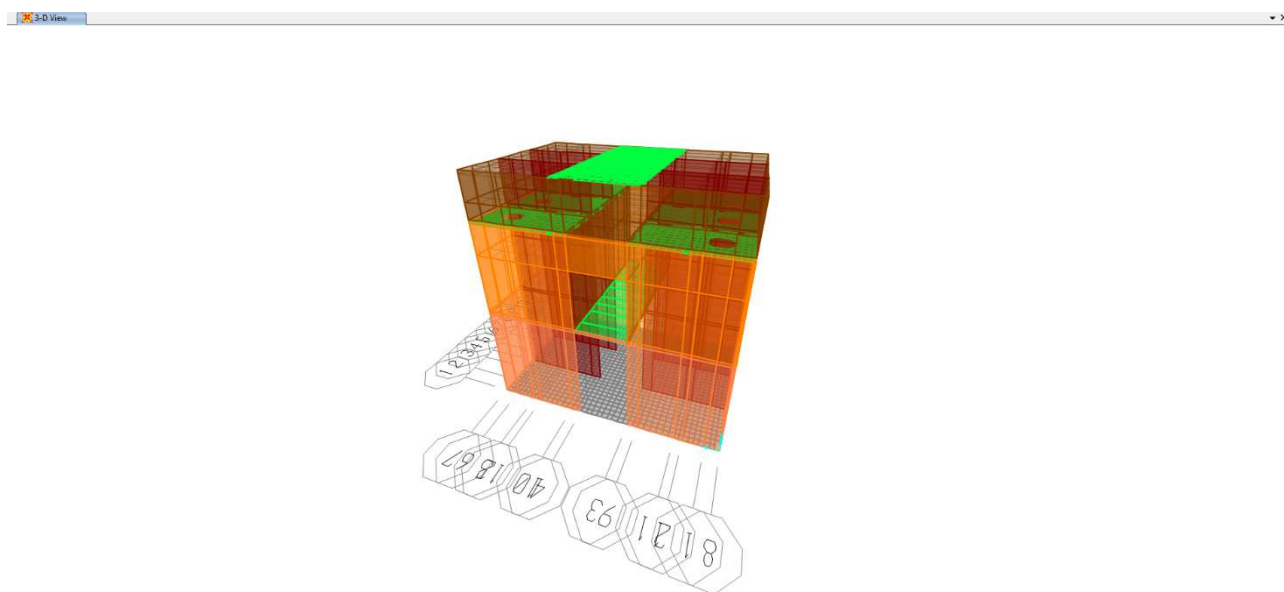


Figura 7.4 Modellazione Camera di Alloggiamento delle idrovore (Blocco 2)

7.3.1 Platea di fondazione

Resultant M11 Diagram (SLU_FOND_1)

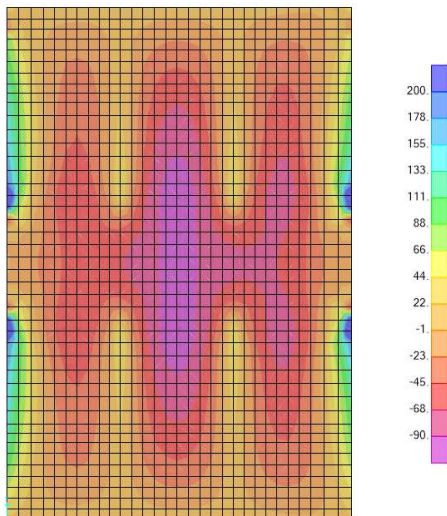


Figura 7.5 SLU FOND.1: M11, max= -101.00 kNm/m

Resultant M22 Diagram (SLU_FOND_1)

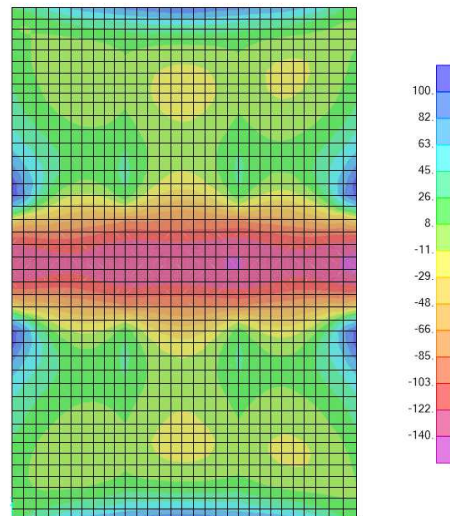


Figura 7.6 SLU FOND.1: M22, max= -140.45 kNm/m

Resultant V13 Diagram (SLU_FOND_1)

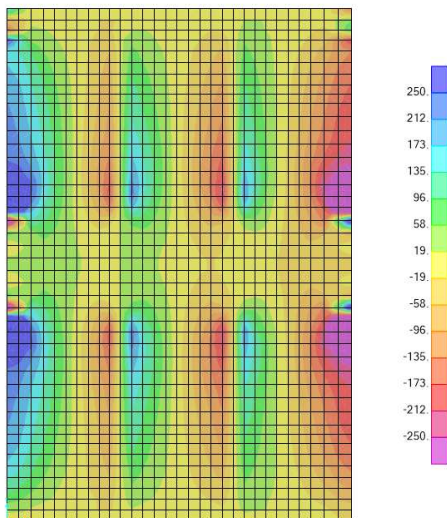


Figura 7.7 SLU FOND.1: V13, max= 224.32 kN/m

Resultant V23 Diagram (SLU_FOND_1)

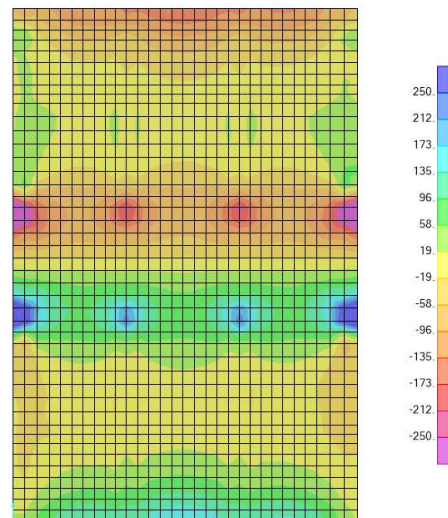


Figura 7.8 SLU. FOND1: V23, max= 240.28 kN/m

Deformed Shape (SLU_FOND_1)

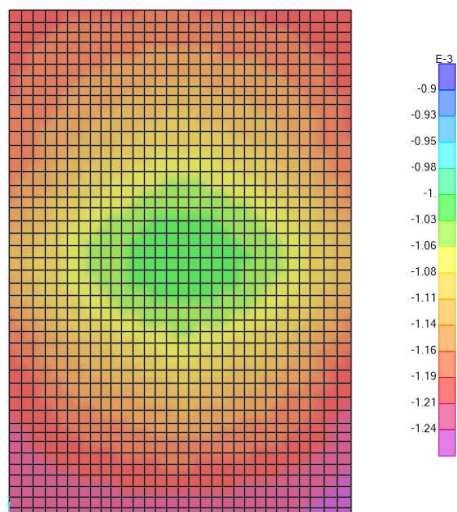


Figura 7.9 SLU. FOND1: Uz: max= -1.24E-3 m

Resultant M11 Diagram (R1)

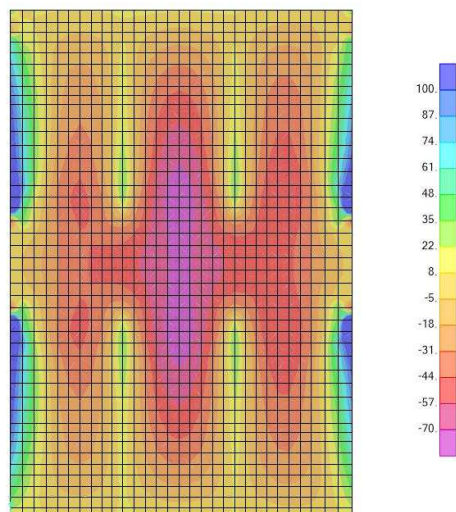


Figura 7.10 R1: M11, max= -75.77 kNm/m

Resultant M22 Diagram (R1)

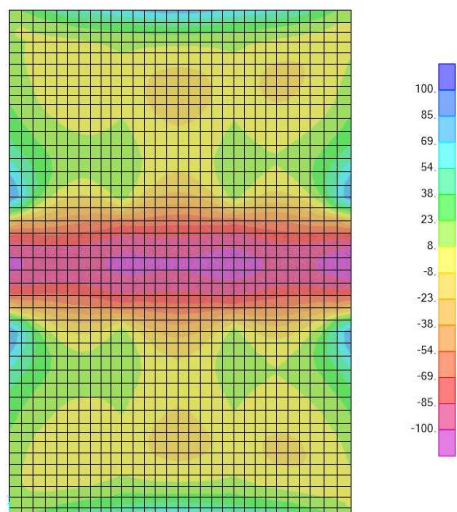


Figura 7.11 R1: M22, max= -105.12 kNm/m

Resultant M11 Diagram (F1)

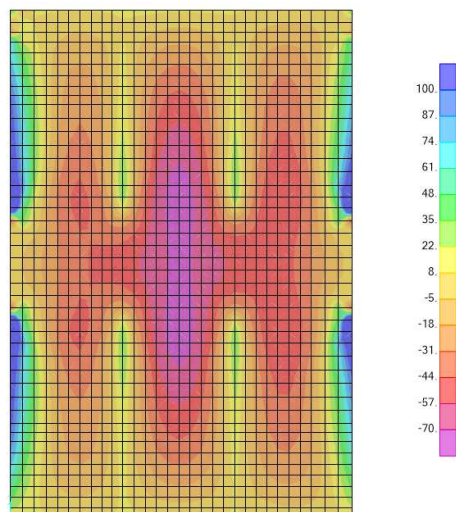


Figura 7.12 F1: M11, max= 75.29 kNm/m

Resultant M22 Diagram (F1)

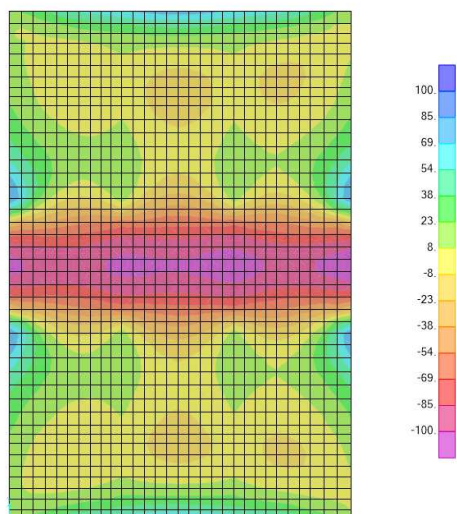


Figura 7.13 F1: M22, max= 104.58 kNm/m

Resultant M11 Diagram (QP)

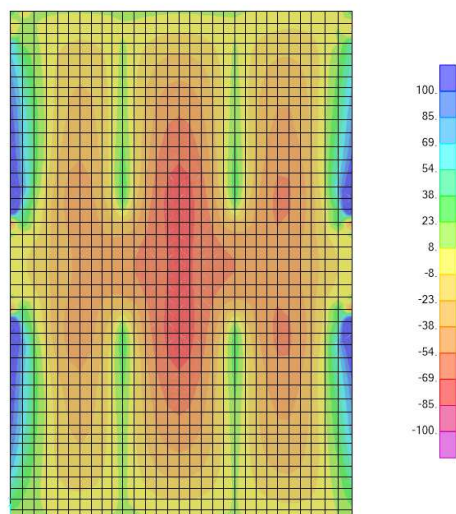


Figura 7.14 QP: M11, max= 75.05 kNm/m

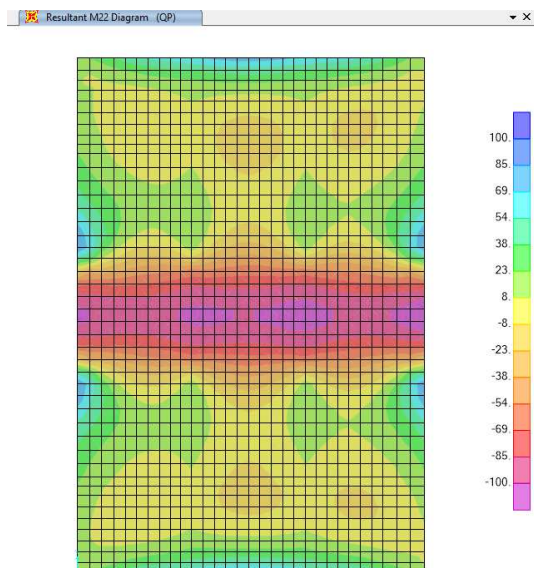


Figura 7.15 QP: M22, max= 104.23 kNm/m

7.3.2 Pareti

7.3.2.1 Spessore 80cm

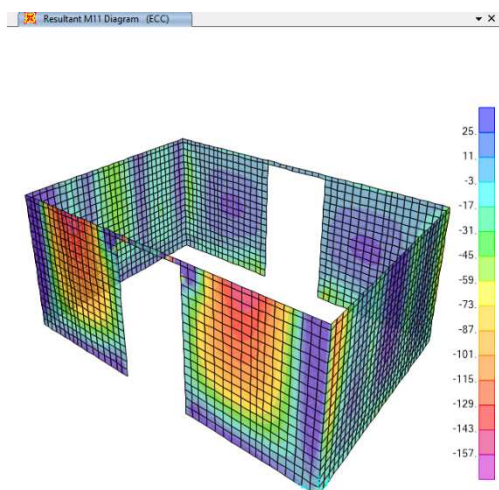


Figura 7.16 ECC: M11, max= -159.75 kNm/m

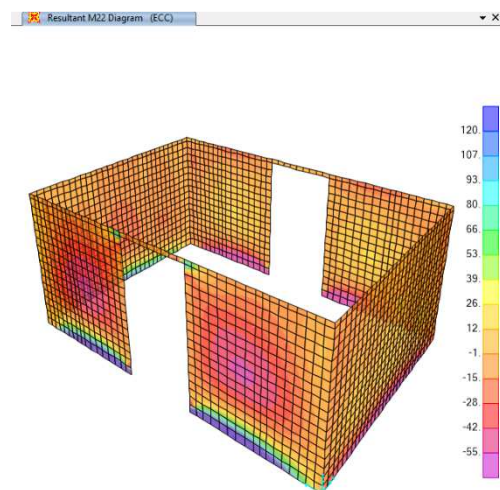


Figura 7.17 ECC: M22, max= 120.87 kNm/m

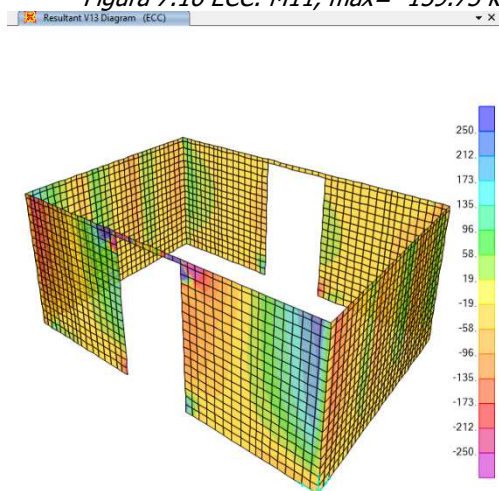


Figura 7.18 ECC: V13, max= 236.23 kN/m

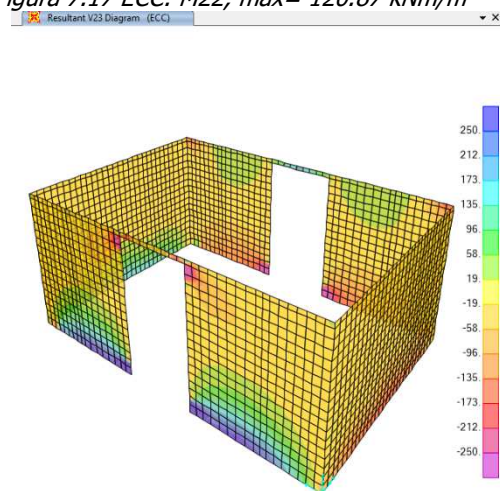


Figura 7.19 ECC: V23, max= 219.79 kN/m

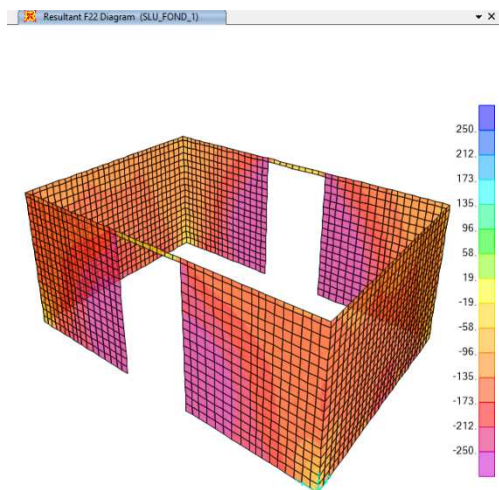


Figura 7.20 ECC: F22, max= 315.81 kN/m

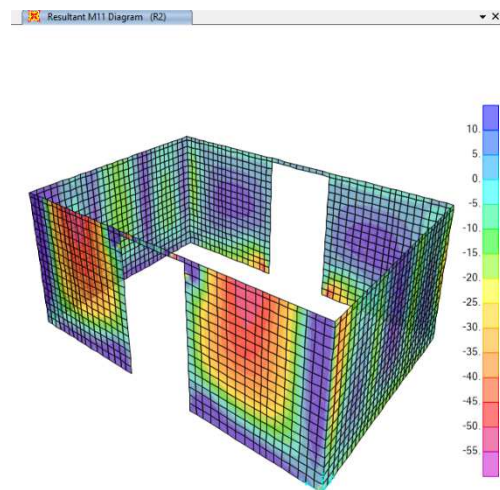


Figura 7.21 R2: M11, max= -55.54 kNm/m

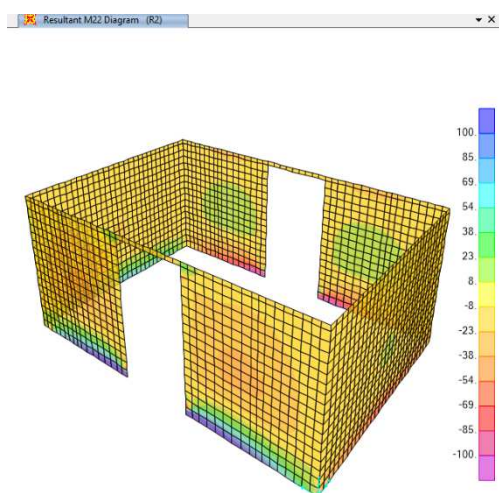


Figura 7.22 R2: M22, max= 69.51 kNm/m

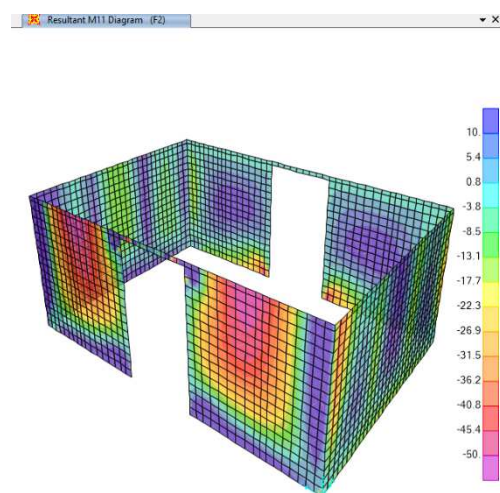


Figura 7.23 F2: M11, max= -55.48 kNm/m

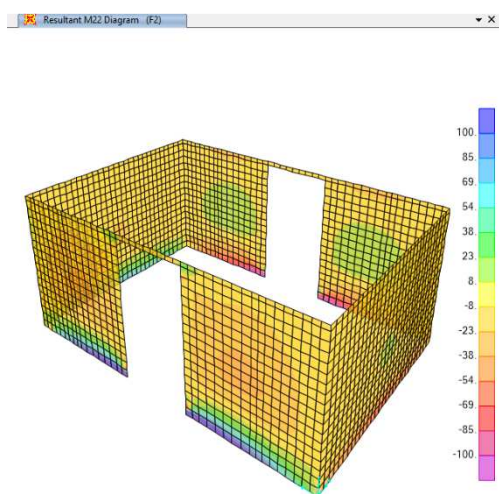


Figura 7.24 F2: M22, max= 65.40 kNm/m

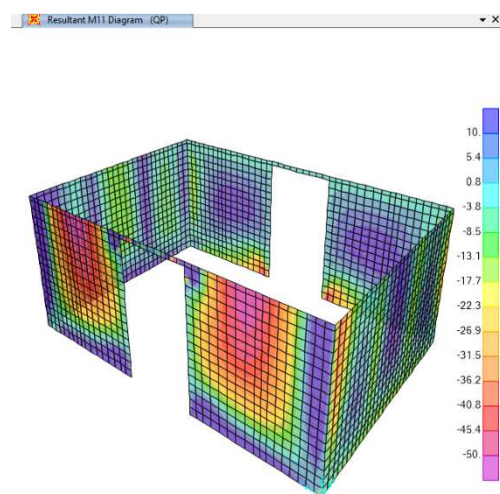


Figura 7.25 QP: M11, max= -55.42 kNm/m

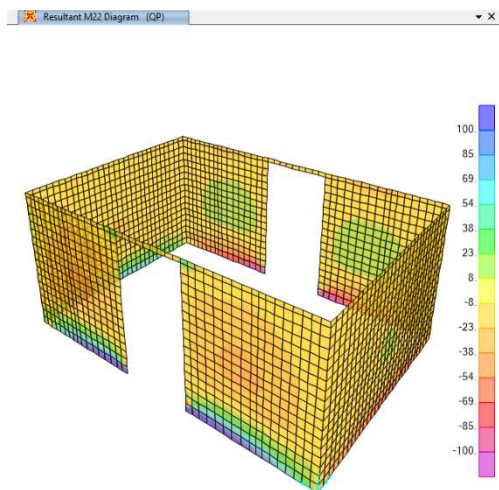


Figura 7.26 QP: M22, max= 65.38 kNm/m

7.3.2.2 Spessore 50cm

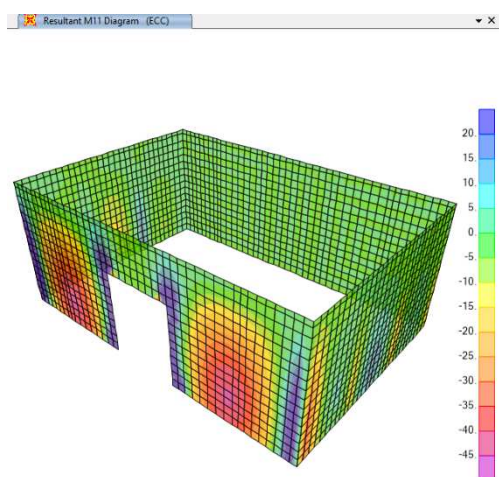


Figura 7.27 ECC: M11, max= -45.81 kNm/m

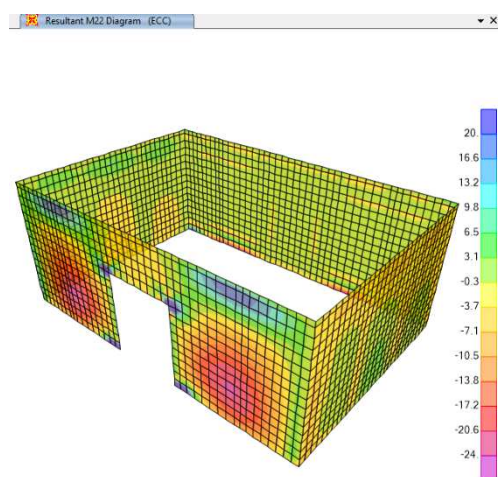


Figura 7.28 ECC: M22, max= 24.11 kNm/m

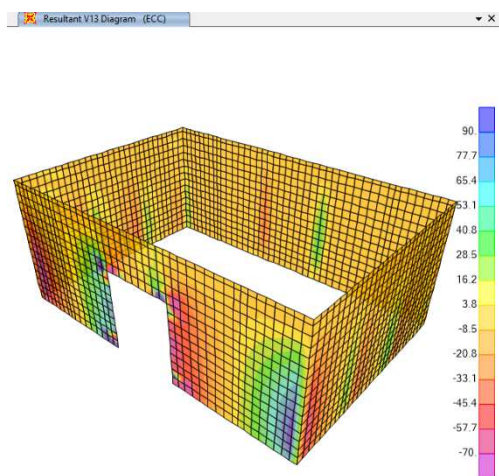


Figura 7.29 ECC: V13, max= 98.57 kN/m

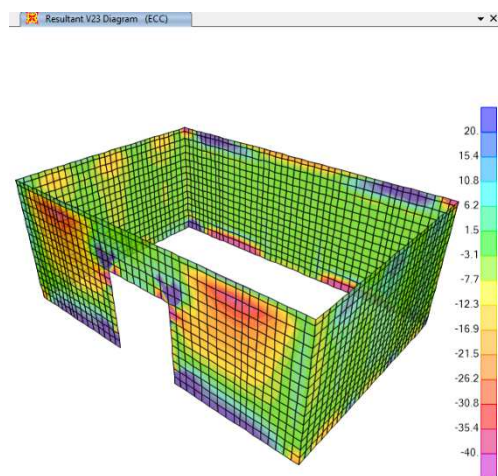


Figura 7.30 ECC: V23, max= -85.05 kN/m

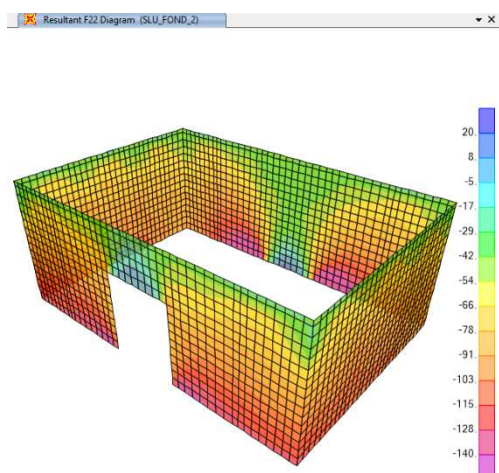


Figura 7.31 ECC: F22, max= 157.07 kN/m

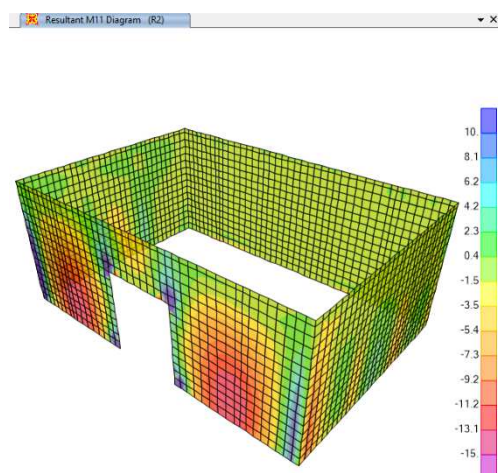


Figura 7.32 R2: M11, max= -15.05 kNm/m

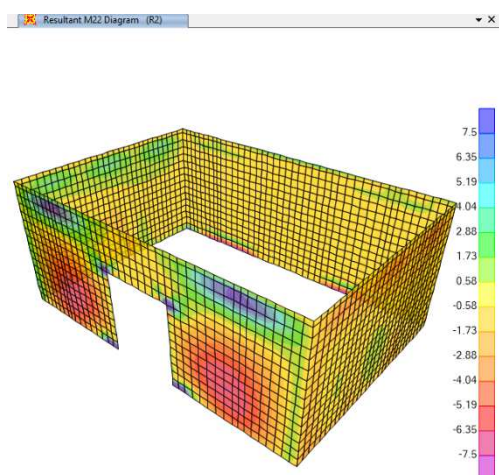


Figura 7.33 R2: M22, max= -7.76 kNm/m

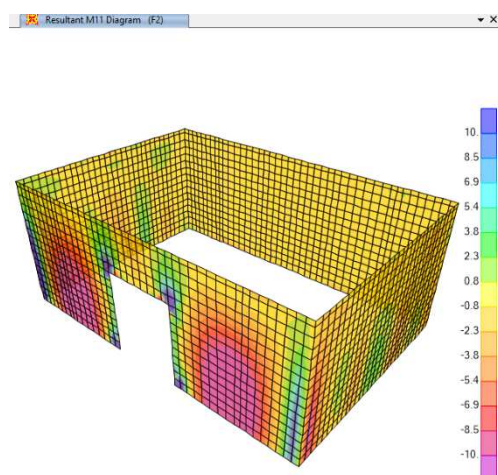


Figura 7.34 F2: M11, max= -14.99 kNm/m

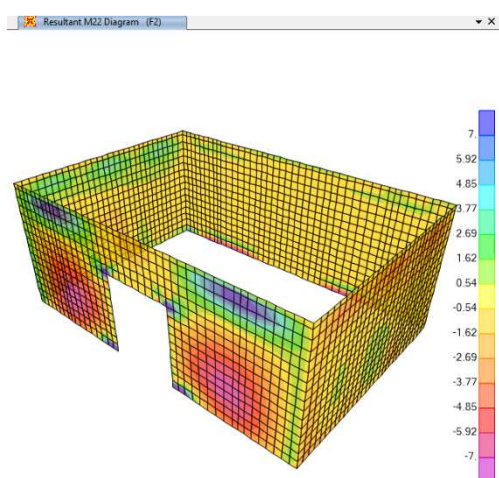


Figura 7.35 F2: M22, max= -7.62 kNm/m

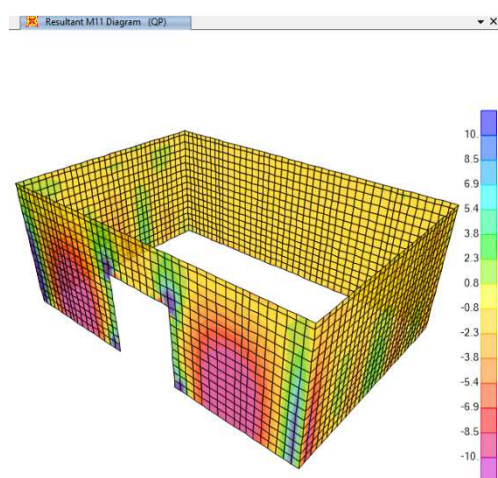


Figura 7.36 QP: M11, max= -15.95 kNm/m

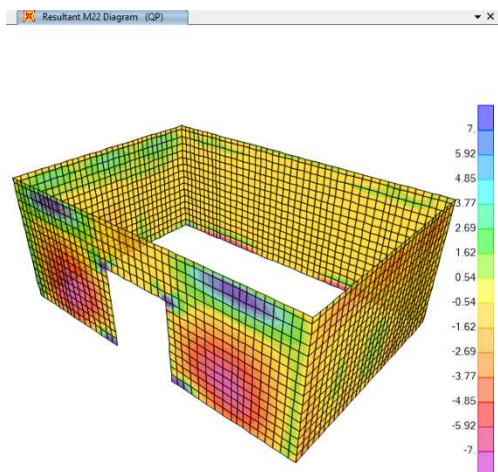


Figura 7.37 QP: M22, max= 7.59 kNm/m

7.3.2.3 Spessore 40cm

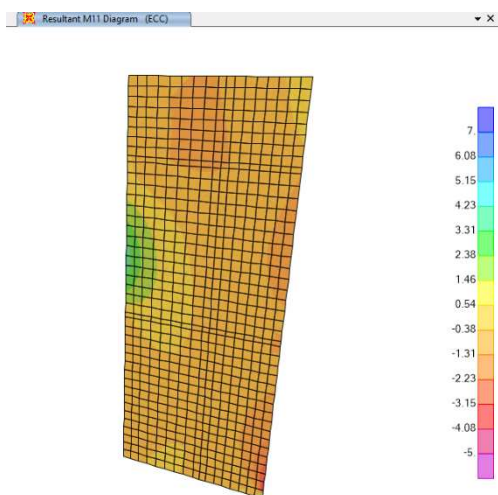


Figura 7.38 ECC: M11, max= 3.60 kNm/m

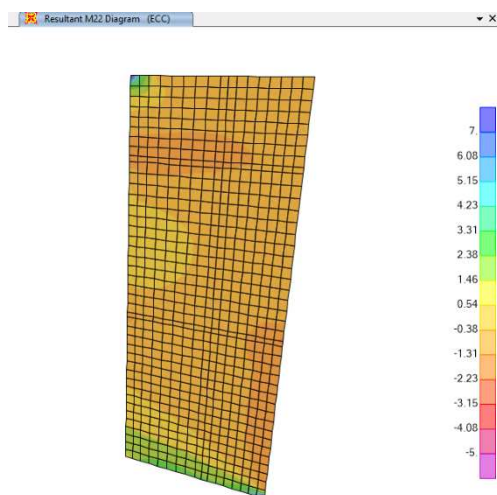


Figura 7.39 ECC: M22, max= 2.50 kNm/m

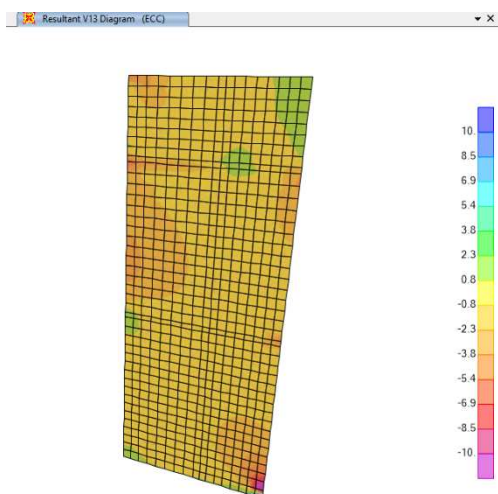


Figura 7.40 ECC: V13, max= 3.00 kN/m

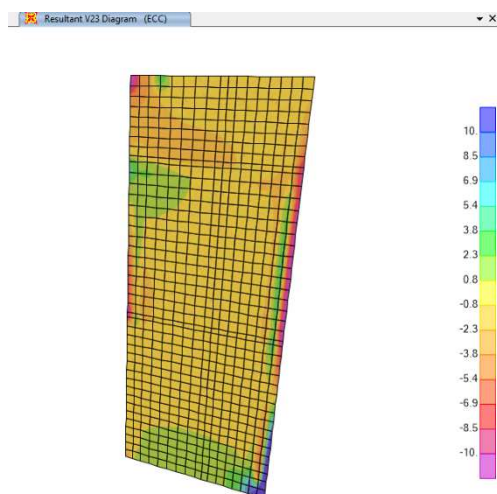


Figura 7.41 ECC: V23, max= 4.25 kN/m

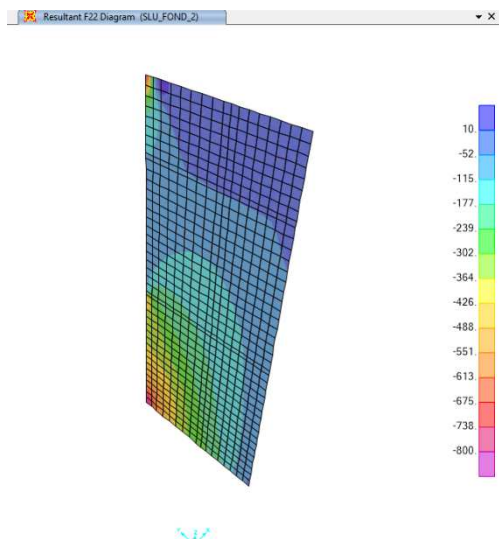


Figura 7.42 ECC: F22, max= -950 kN/m

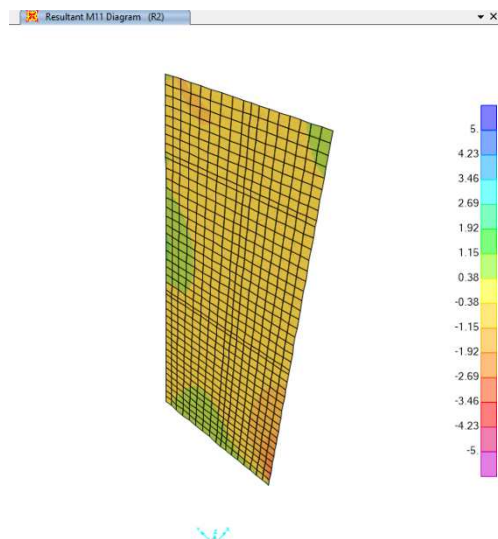


Figura 7.43 R2: M11, max= 1.31 kNm/m

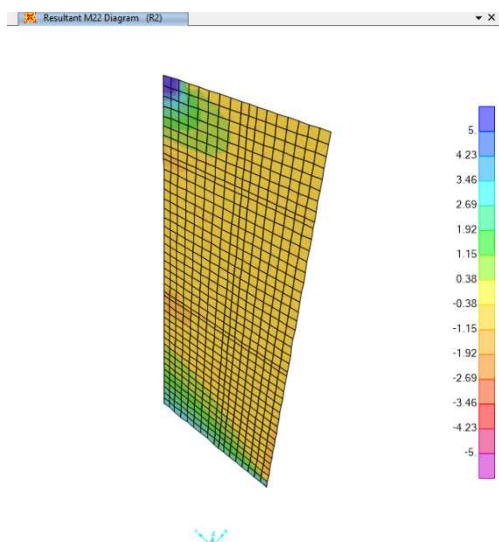


Figura 7.44 R2: M22, max= 2.00 kNm/m

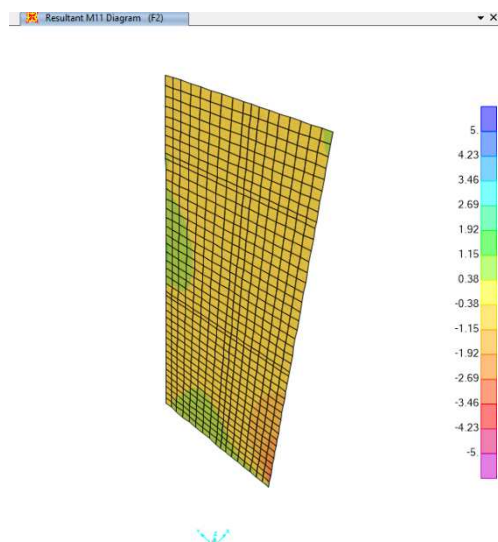


Figura 7.45 F2: M11, max= 1.19 kNm/m

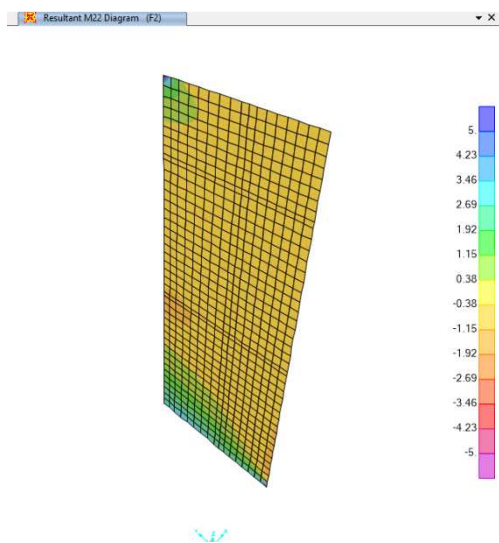


Figura 7.46 F2: M22, max= 1.89 kNm/m

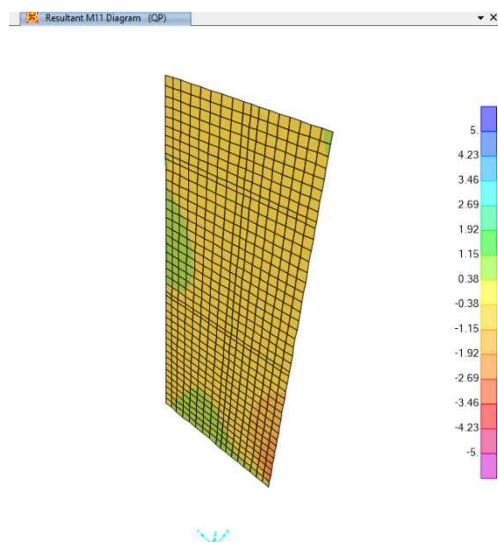


Figura 7.47 QP: M11, max= 1.01 kNm/m

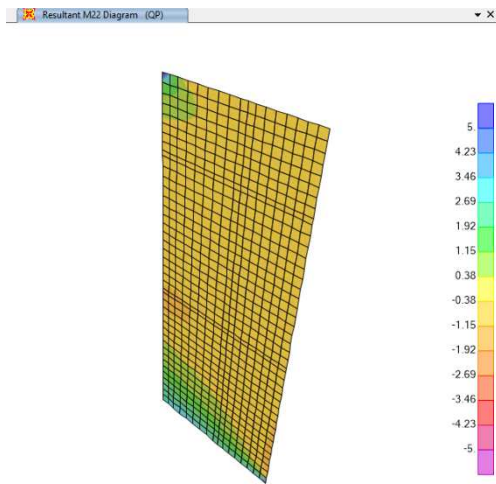


Figura 7.48 QP: M22, max= 1.52 kNm/m

7.3.2.4 Spessore 30cm

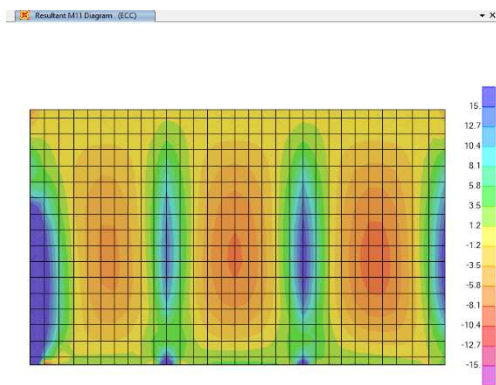


Figura 7.49 ECC: M11, max= 18.75 kNm/m

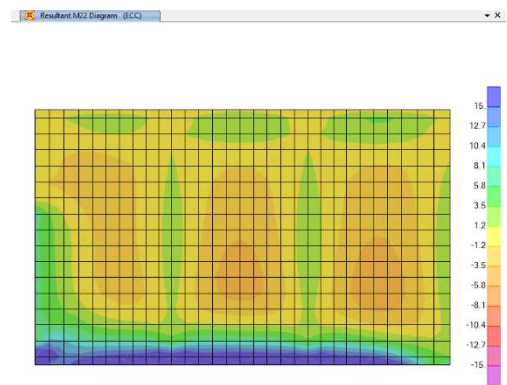


Figura 7.50 ECC: M22, max= 40.23 kNm/m

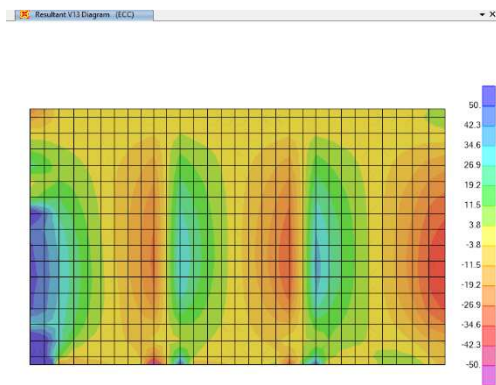


Figura 7.51 ECC: V13, max= 35.57 kN/m

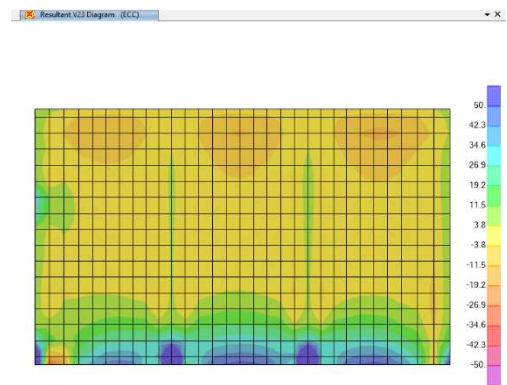


Figura 7.52 ECC: V23, max= 49.58 kN/m

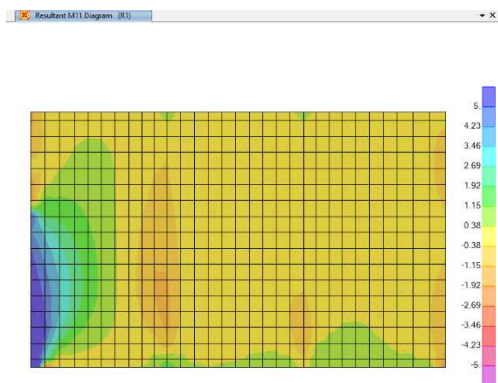


Figura 7.53 R2: m_{11} , $\max = 4.43 \text{ kN/m}$

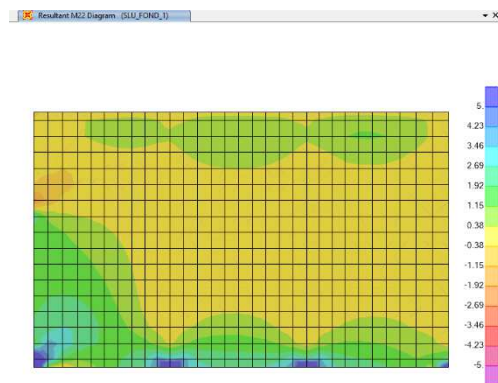


Figura 7.54 R2: M_{22} , $\max = 2.63 \text{ kNm/m}$

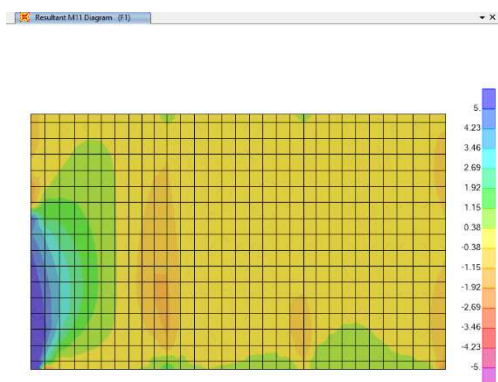


Figura 7.55 F1: M_{11} , $\max = 3.70 \text{ kN/m}$

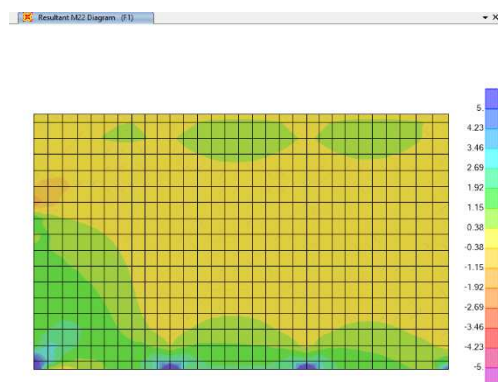


Figura 7.56 F1: M_{22} , $\max = 2.04 \text{ kNm/m}$

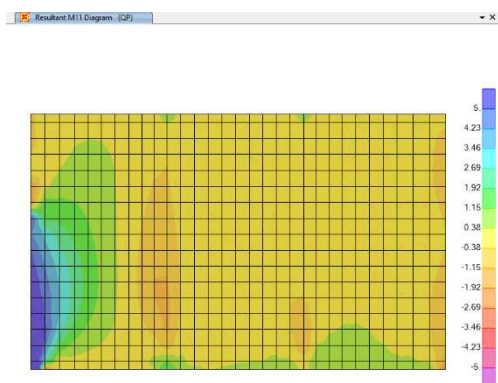


Figura 7.57 QP: M_{11} , $\max = 3.65 \text{ kN/m}$

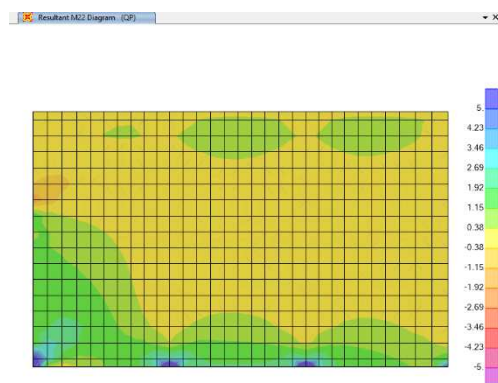


Figura 7.58 QP: M_{22} , $\max = 1.97 \text{ kNm/m}$

7.3.3 Soletta a quota 51.40 m s.l.m

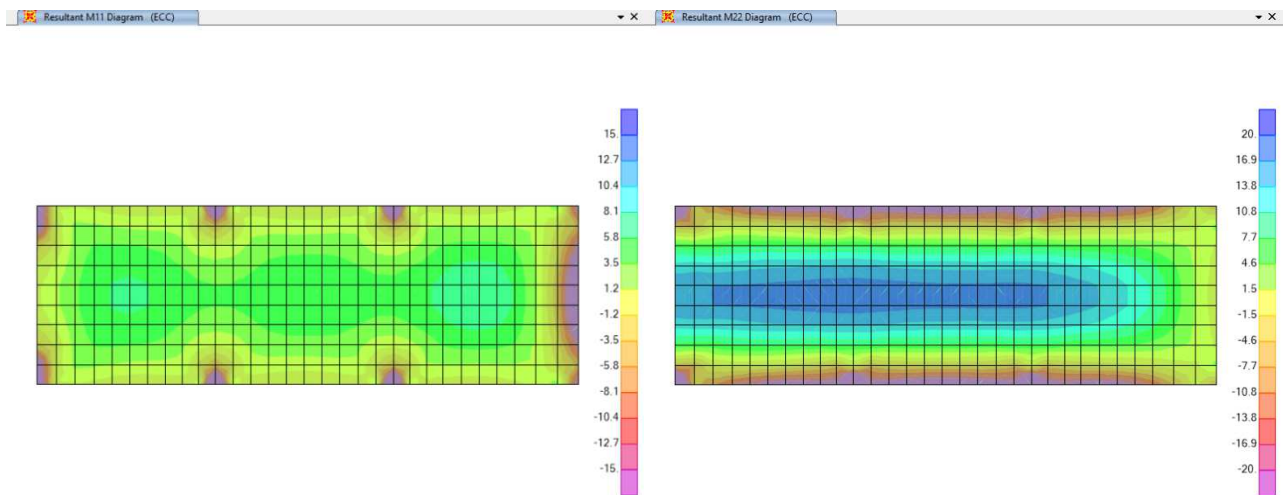


Figura 7.59 ECC: M11, max= 7.44 kNm/m

Figura 7.60 ECC: M22, max= 21.90 kNm/m

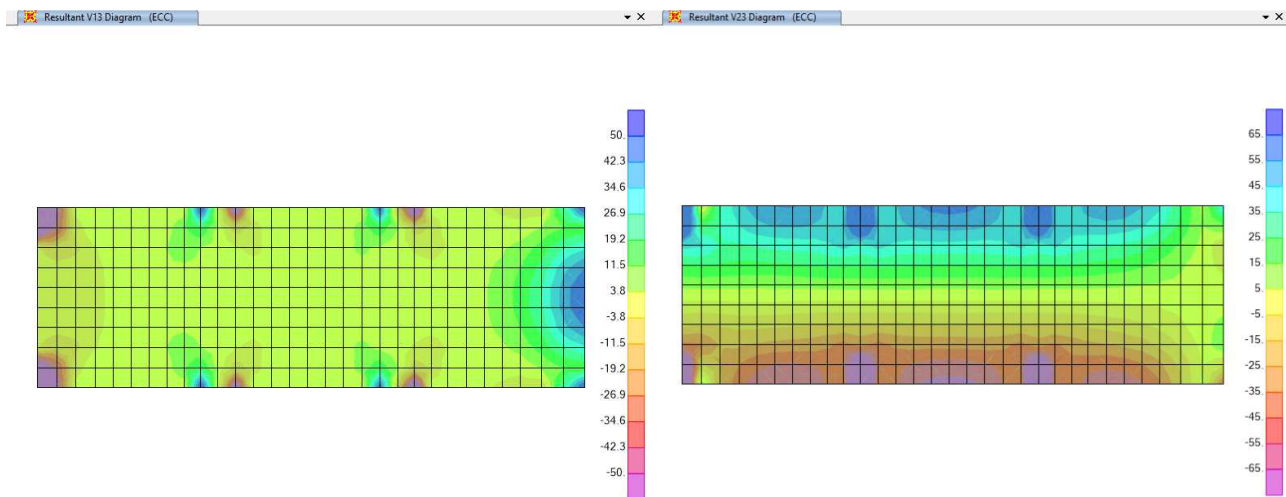


Figura 7.61 ECC: V13, max= -30.89 kN/m

Figura 7.62 SLU. ECC: V23, max= -86.16 kN/m

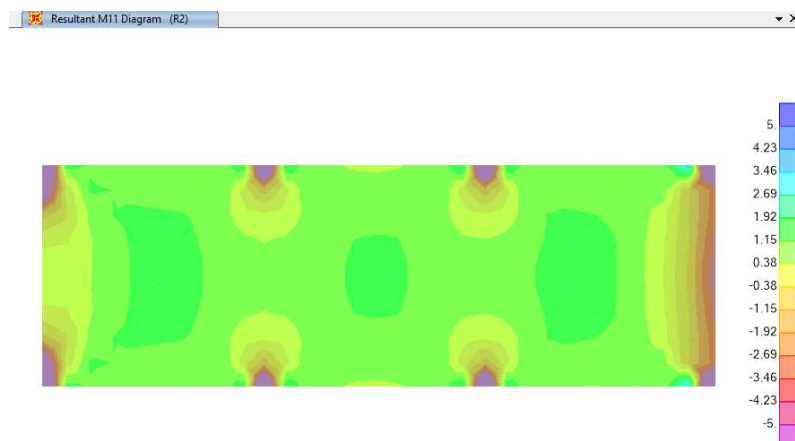


Figura 7.63 R2: M11, max= -3.16 kNm/m

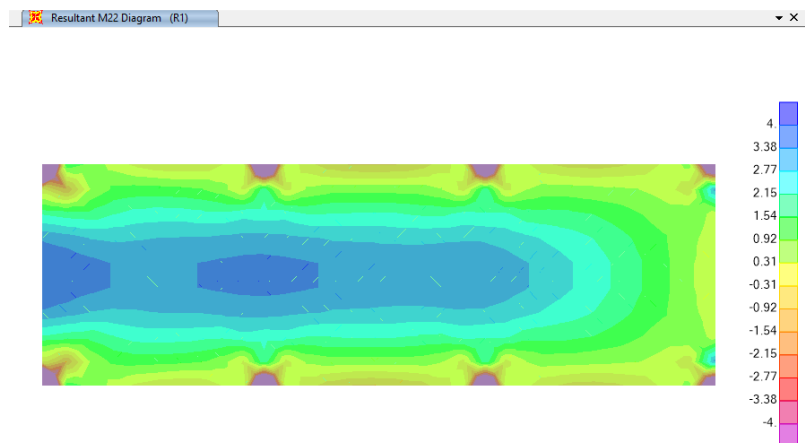


Figura 7.64 R2: M_{22} , max= 4.63 kNm/m

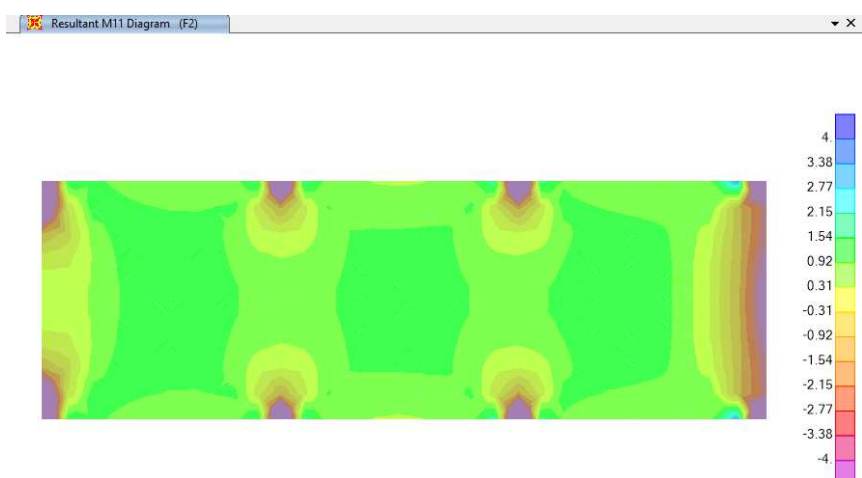


Figura 7.65 F2: M_{11} , max= 3.08 kNm/m

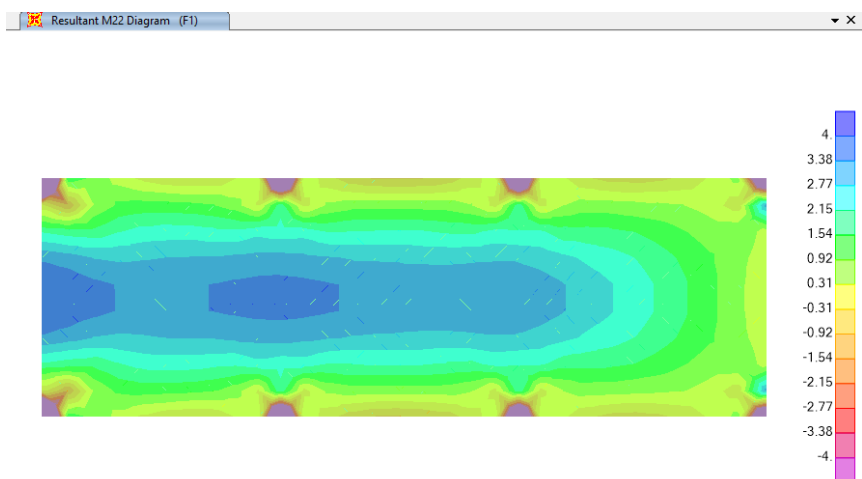


Figura 7.66 F1: M_{22} , max= -3.08 kNm/m

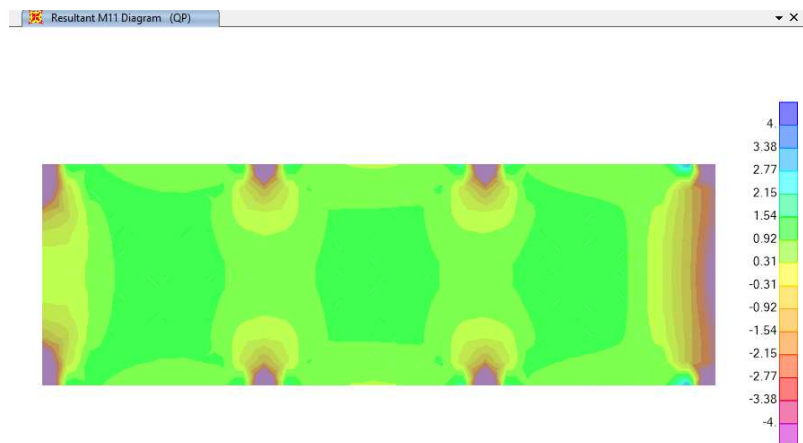


Figura 7.67 QP: M11, max= -3.03 kNm/m

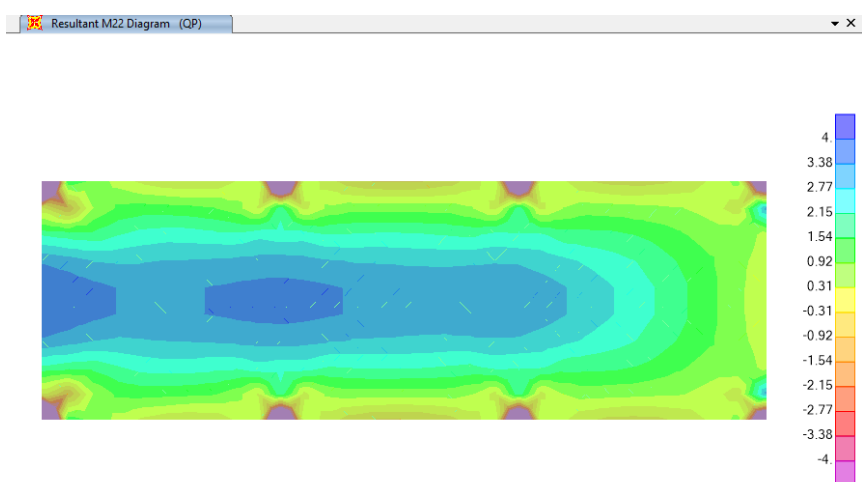


Figura 7.68 QP: M22, max= 4.61 kNm/m

7.3.4 Solette a quota 55.92 m s.l.m

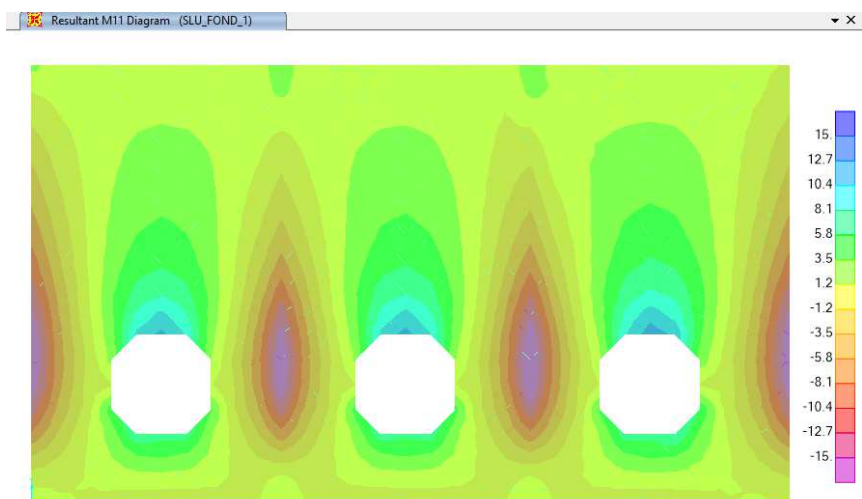


Figura 7.69 SLU FOND.1: M11, max= -18.18 kNm/m

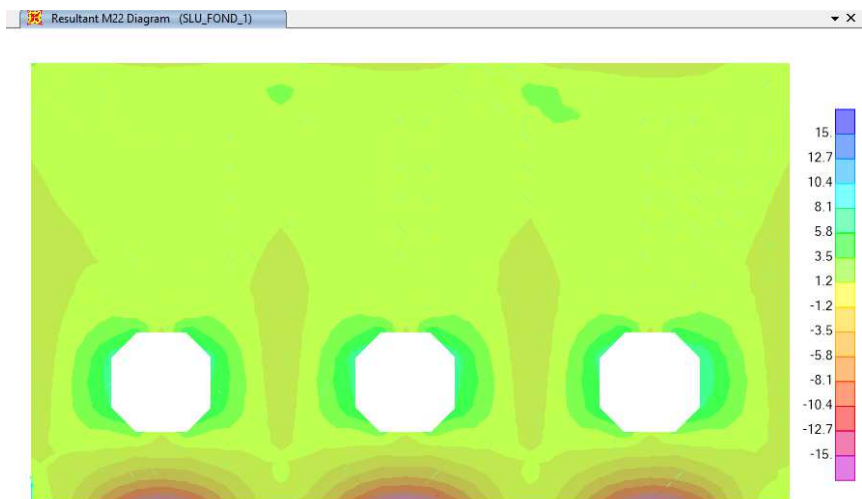


Figura 7.70 SLU FOND.1: M22, max= -16.06 kNm/m

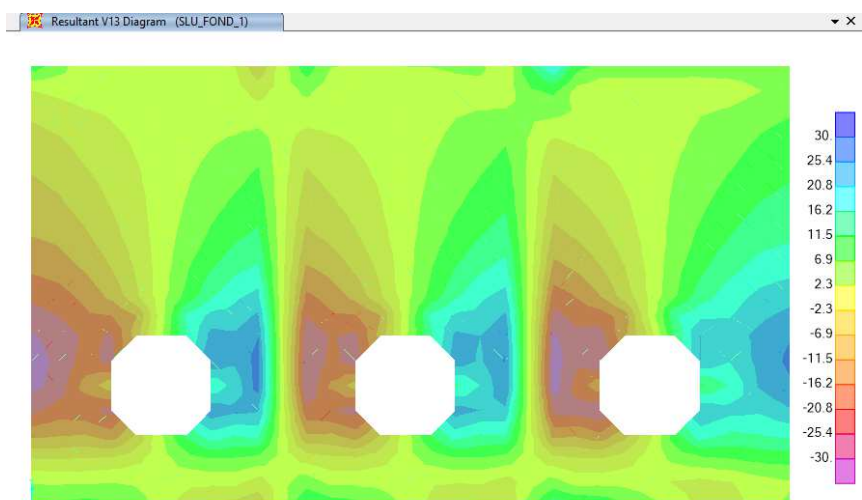


Figura 7.71 SLU FOND.1: V13, max= -29.54 kN/m

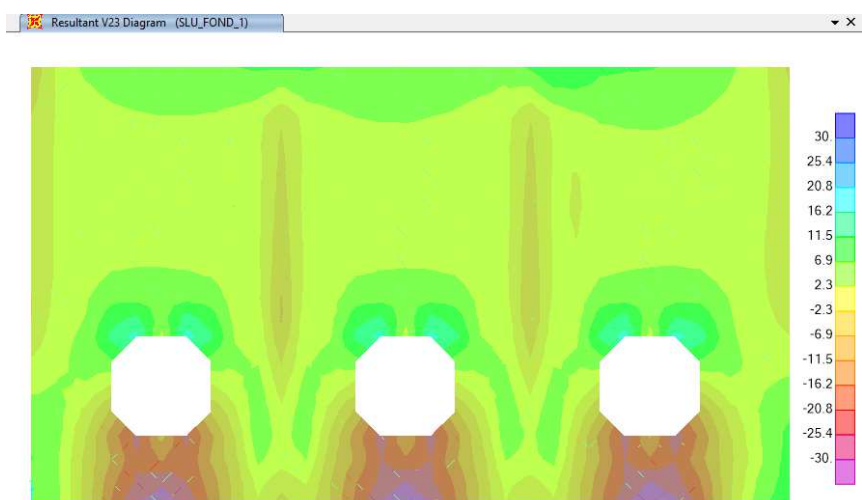


Figura 7.72 SLU. FOND1: V23, max= -33.97 kN/m

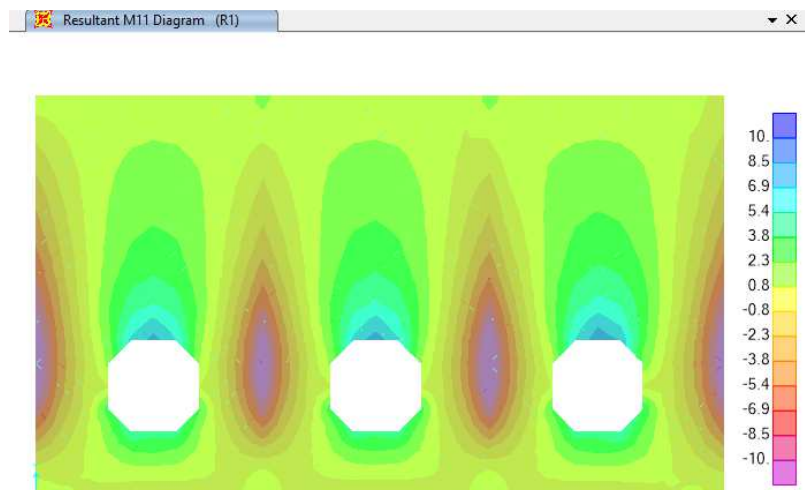


Figura 7.73 R1: M11, max= -12.48 kNm/m

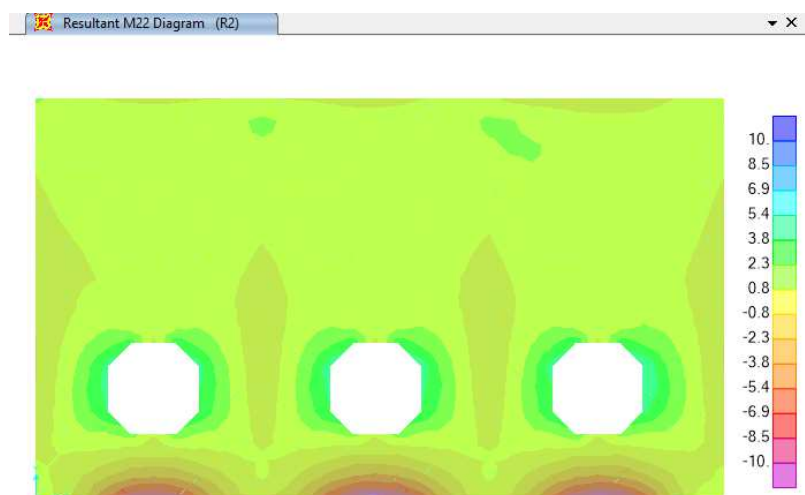


Figura 7.74 R2: M22, max= -11.10 kNm/m

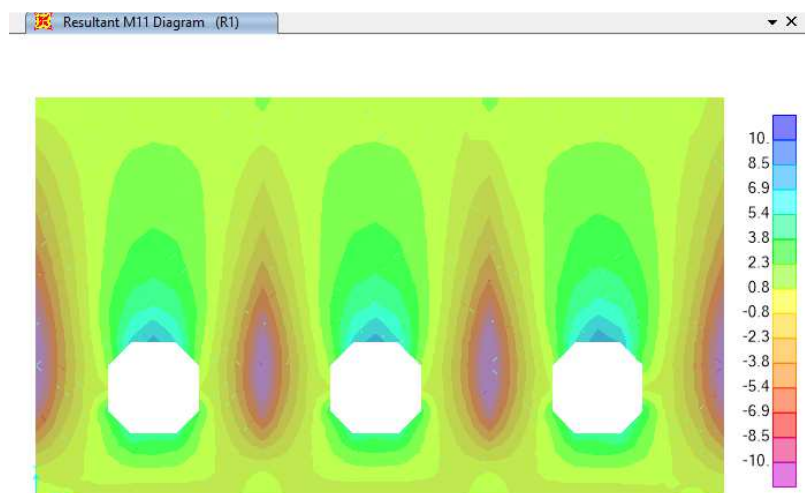


Figura 7.75 R1: M11, max= -12.41 kNm/m

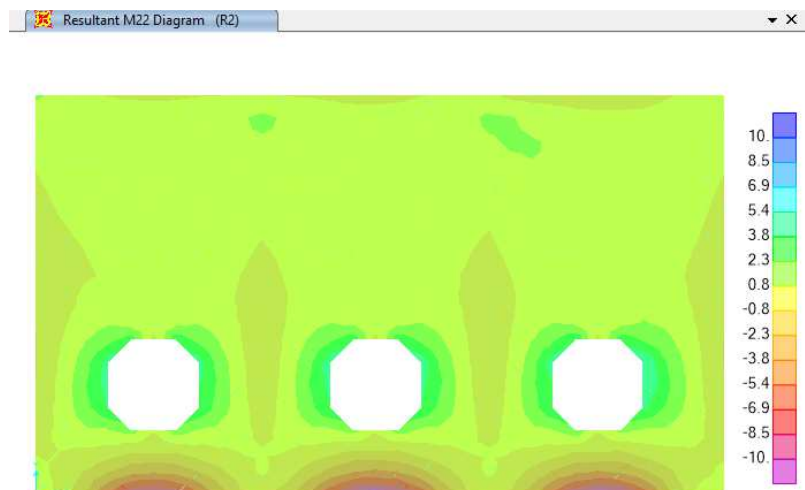


Figura 7.76 R2: M22, max= -11.09 kNm/m

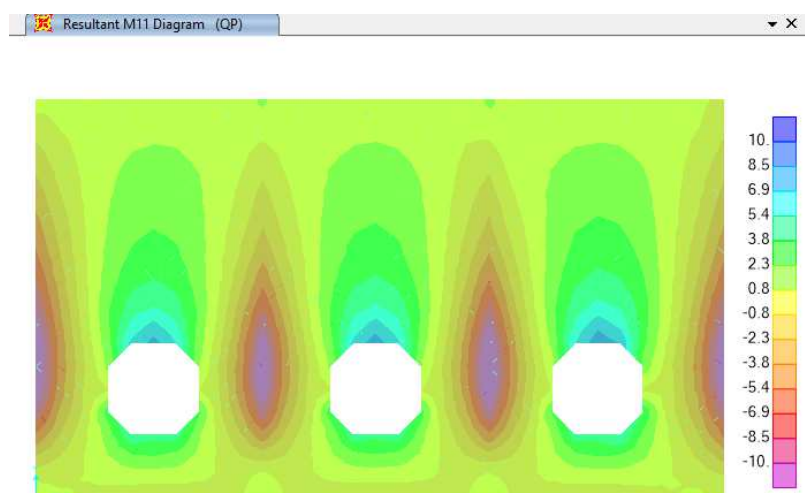


Figura 7.77 QP: M11, max= -12.31 kNm/m

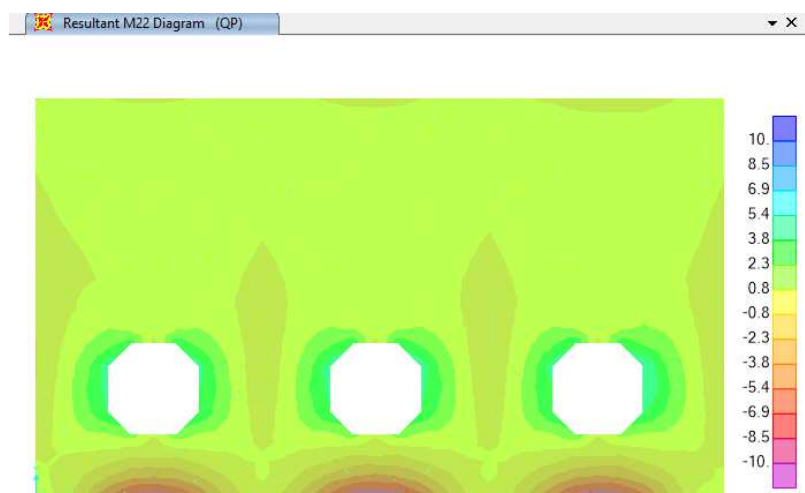


Figura 7.78 QP: M22, max= -11.06 kNm/m

7.3.5 Soletta di copertura

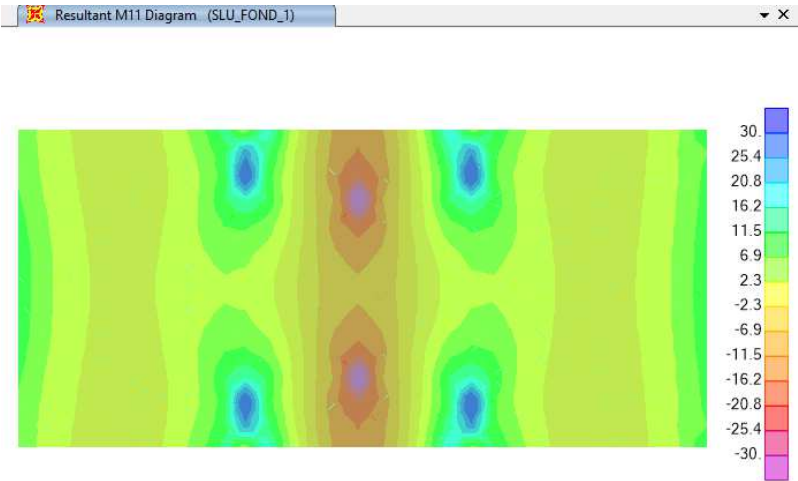


Figura 7.79 SLU FOND.1: M11, max= 40.32 kNm/m

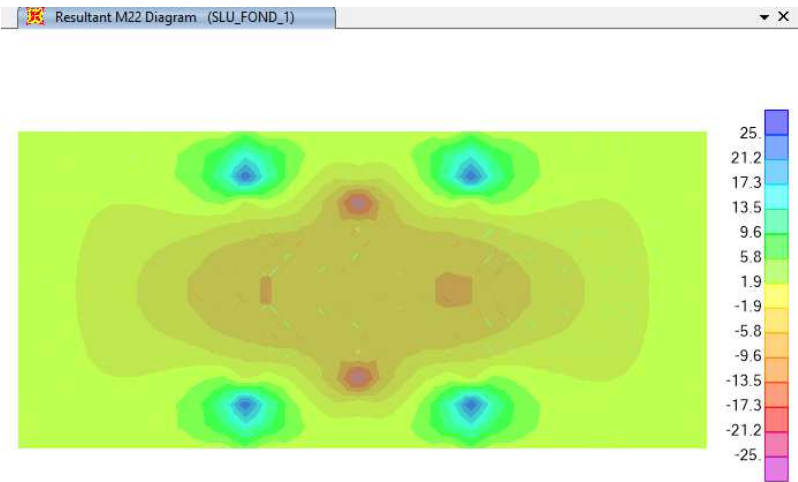


Figura 7.80 SLU FOND.1: M22, max= 28.91 kNm/m

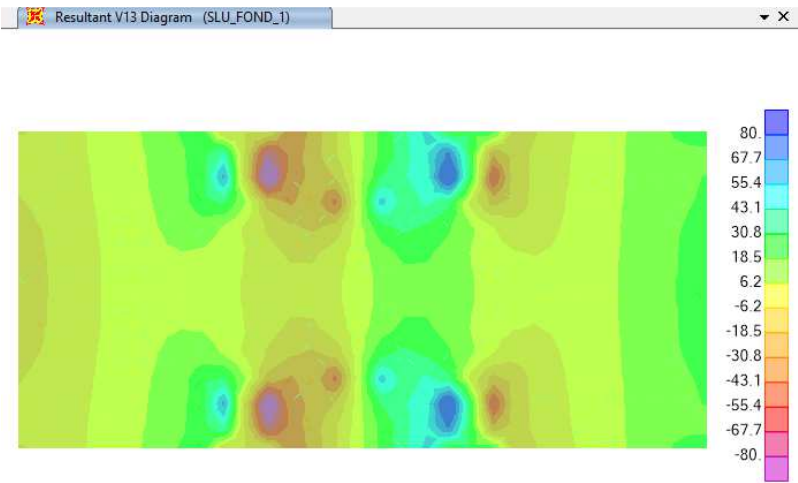


Figura 7.81 SLU FOND.1: V13, max= 108.16 kN/m

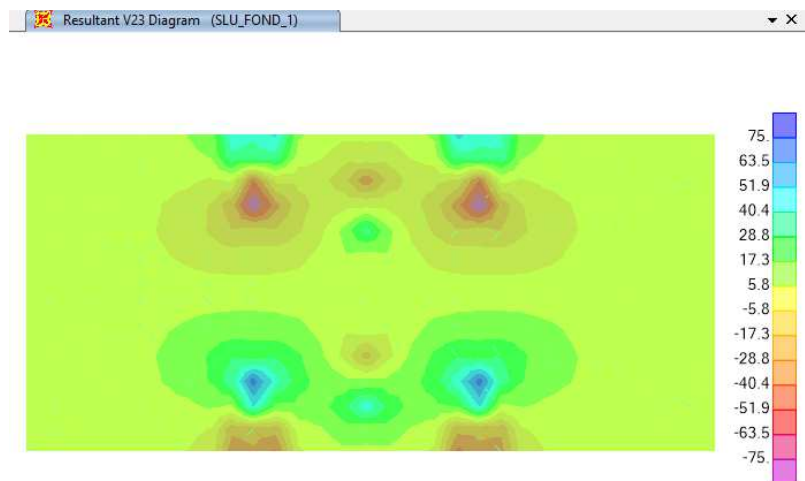


Figura 7.82 SLU. FOND1: V23, max= -81.84 kN/m

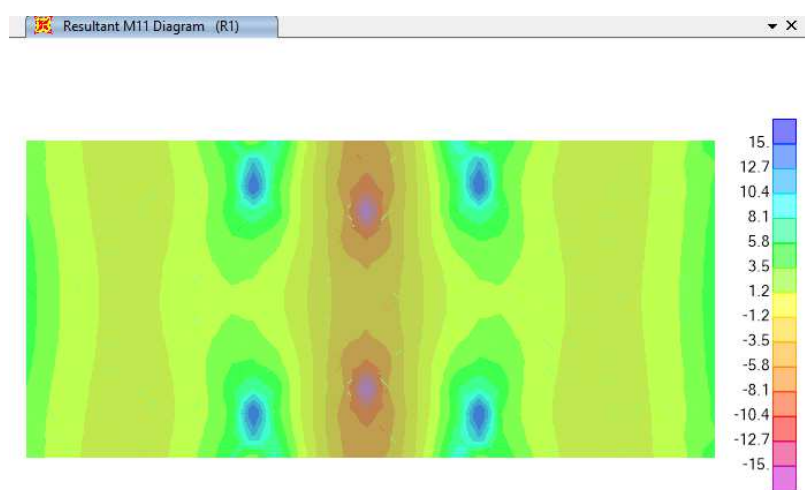


Figura 7.83 R1: M11, max= 19.17 kNm/m

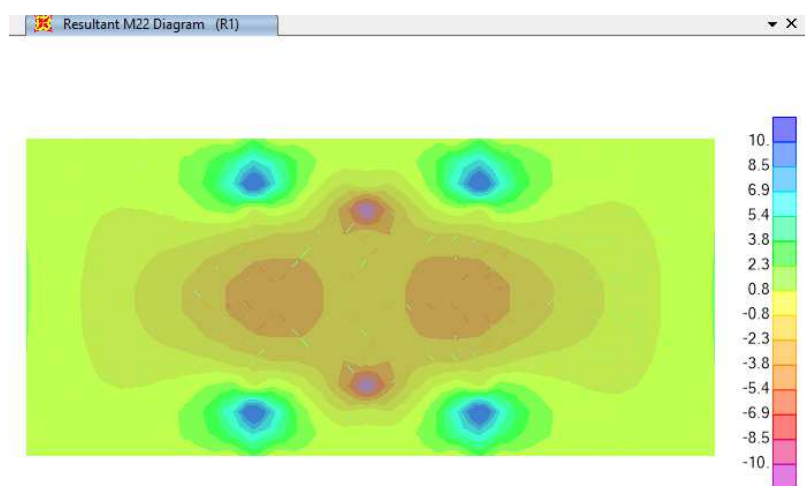


Figura 7.84 R1: M22, max= 14.21 kNm/m

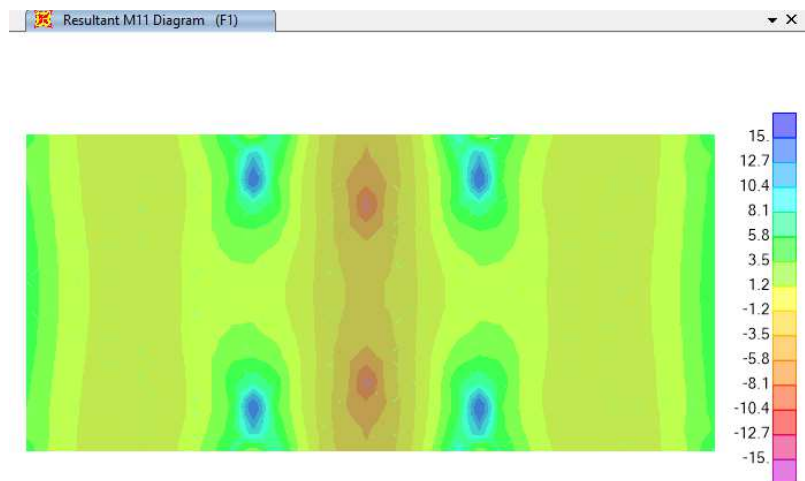


Figura 7.85 F1: M11, max= 18.97 kNm/m

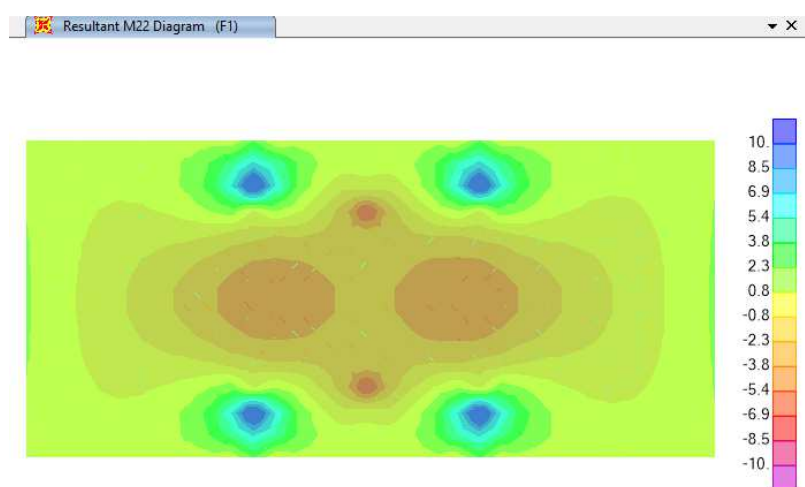


Figura 7.86 F1: M22, max= 14.13 kNm/m

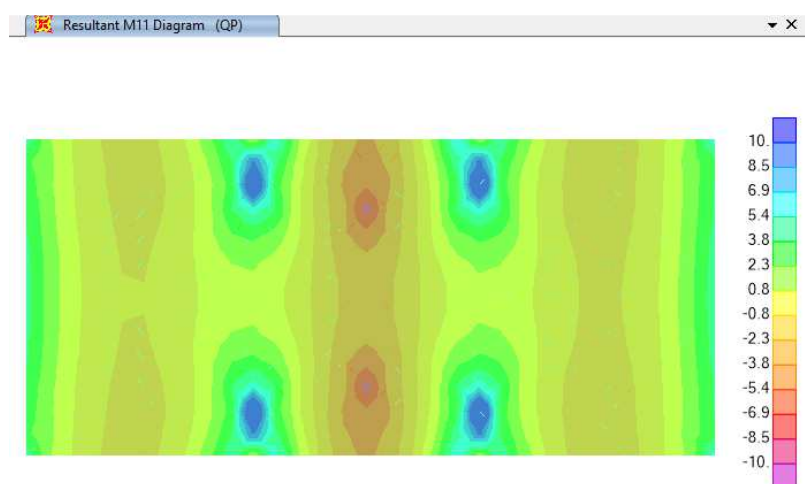


Figura 7.87 QP: M11, max= 15.67 kNm/m

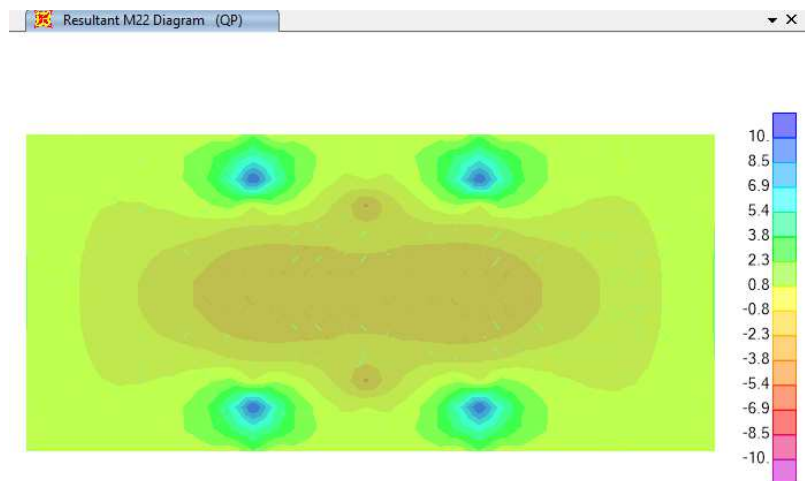


Figura 7.88 QP: M22, max= 11.94 kNm/m

7.4 Verifiche effettuate

7.4.1 Verifiche della platea di fondazione

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	140.45	0.00	240.28	0.00
RARA	105.21			
FREQ.	104.58			
Q. PERM.	104.23			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 4 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	96	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 240.28 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 100 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 96 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 254.17 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.46 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0010 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 10\,000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 340.29 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.354$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 254.17 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 240.28 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 140.45 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 100 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 96 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 345\,521 \quad x \quad - 29\,556\,104 = 0$$

$$x = 3.41 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -125.99 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	375.33	kNm	>	$M_{Ed} =$	140.45	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	105.21	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	14.61	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1 119 852	cm ⁴			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.37	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	114.70	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	104.23	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	14.61	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1 119 852	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 113.63 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00008 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00032$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 28.46 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 50.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.132	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	104.58	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	14.61	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1 119 852	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 114.01 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00008 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00033$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 28.46 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 50.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.132	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.36	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	113.63	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	---------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	101.00	0.00	224.32	0.00
RARA	75.77			
FREQ.	75.29			
Q. PERM.	75.05			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 4 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	96	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 224.32 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 100 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 96 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 232.53 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.46 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0008 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 10\,000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 340.29 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.354$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 232.53 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 224.32 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 101.00 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 100 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 96 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	289.85	kNm	>	$M_{Ed} =$	101.00	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	75.77	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			13.06	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			877 939	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.13	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	107.37	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	75.05	kNm					
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²	
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²	

con:

$b =$	100	cm		$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm		$d =$	96	cm
$n =$	15					

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00					
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²				
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				13.06	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				877 939	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 106.35 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = \frac{-0.00030}{E_s} < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{0.00030}{E_s}$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 28.98 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 50.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.008 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.135	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	75.29	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	13.06	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	877 939	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 106.69 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00030 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00030$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 28.98 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 50.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.008 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.136 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 1.12 \text{ MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 106.35 \text{ MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

7.4.2 Verifica delle pareti

7.4.2.1 Spessore 80cm

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	120.87	0.00	219.79	1315.81
RARA	69.51			
FREQ.	65.40			
Q. PERM.	65.38			

VERIFICA PARETI SP80 BLOCCO 2 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	76	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 219.79 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 80 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 76 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 244.42 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.51 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0017 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 285.24 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.375$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 244.42 \text{ kN} > V_{Ed} = 219.79 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 120.87 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 80 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 76 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 437\,299 \quad x \quad - 37\,406\,944 = 0$$

$$x = 3.72 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -54.46 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	372.37	kNm	>	$M_{Ed} =$	120.87	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	69.51	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				14.07	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				844 177	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.16	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	76.49	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	65.38	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	14.07	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	844 177	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 71.95 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00016 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00021$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 21.98 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \quad \text{cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \quad \text{cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.077	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	65.40	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			14.07	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			844 177	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 71.97 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00016 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00021$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 21.98 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.077	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} \cdot x / J_{fess} =$	1.09	MPa	<	$0,45 \cdot f_{ck} =$	14.94	MPa
$\sigma_s = n \cdot M_{Ed} \cdot (d - x) / J_{fess} =$	71.95	MPa	<	$0,8 \cdot f_{yk} =$	360.00	MPa

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	159.75	0.00	236.26	0.00
RARA	55.54			
FREQ.	55.48			
Q. PERM.	55.42			

VERIFICA PARETI_SP80 BLOCCO 2 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	76	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 236.26 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 80 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 76 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 244.42 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.51 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0017 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 8000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 285.24 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.375$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 244.42 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 236.26 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 159.75 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 80 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 76 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 437\,299 \quad x \quad - 37\,406\,944 = 0$$

$$x = 3.72 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -54.46 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	372.37	kNm	>	$M_{Ed} =$	159.75	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	55.54	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				14.07	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				844 177	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.93	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	61.12	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	55.42	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	14.07	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	844 177	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 60.99 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00021 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00017$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 21.98 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.066	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	55.48	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	14.07	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	844 177	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 61.05 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00021 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00017$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 21.98 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.066	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.92	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	60.99	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

7.4.2.2 Spessore 50cm

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	24.11	0.00	85.05	157.07
RARA	15.05			
FREQ.	14.99			
Q. PERM.	14.95			

VERIFICA PARETI_SP50 BLOCCO 2 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	46	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 85.05 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 50 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 46 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 177.33 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.66 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 5000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 198.30 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.431$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 177.33 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 85.05 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 24.11 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 50 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 46 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 345\,521 \quad x \quad - 29\,556\,104 = 0$$

$$x = 3.41 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -125.99 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	178.64	kNm	>	$M_{Ed} =$	24.11	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	15.05	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			9.63	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			234 018	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.62	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	35.09	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	14.95	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	9.63	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	234 018	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 34.85 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00046 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00010$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 13.46 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.040	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	14.99	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	9.63	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	234 018	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 34.95 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00046 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00010$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 13.46 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.041	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.62	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	34.85	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	45.81	0.00	98.57	0.00
RARA	7.76			
FREQ.	7.62			
Q. PERM.	7.59			

VERIFICA PARETI_SP50 BLOCCO 2 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	46	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 98.57 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 50 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 46 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 177.33 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.66 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 5000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 198.30 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.431$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 177.33 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 98.57 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 45.81 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 50 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 46 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 345\,521 \quad x \quad - 29\,556\,104 = 0$$

$$x = 3.41 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -125.99 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	178.64	kNm	>	$M_{Ed} =$	45.81	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	7.76	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			9.63	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			234 018	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.32	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	18.09	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	7.59	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	9.63	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	234 018	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 17.69 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00054 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00005$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 13.46 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.021	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	7.62	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	9.63	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	234 018	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 17.76 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00054 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00005$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 13.46 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.021	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.31	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	17.69	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

7.4.2.3 Spessore 40cm

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	2.50	0.00	4.25	950
RARA	2.00			
FREQ.	1.89			
Q. PERM.	1.52			

VERIFICA PARETI_SP40 BLOCCO 2 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	36	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 4.25 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 40 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 36 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 144.91 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.75 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0021 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 4000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 167.40 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.465$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 144.91 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 4.25 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 2.50 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 40 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 36 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	109.14	kNm	>	$M_{Ed} =$	2.50	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	-------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	2.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			7.57	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			109 248	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.14	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	7.81	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1.52	kNm					
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²	
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²	

con:

$b =$	100	cm		$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm		$d =$	36	cm
$n =$	15					

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00					
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²				
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$				7.57	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				109 248	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 5.93 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00078 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00002$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 10.81 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \quad \text{cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \quad \text{cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.008 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.008	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1.89	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ 14	+	Φ =	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ 14	+	Φ =	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	7.57	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	109 248	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 7.38 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00077 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00002$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 10.81 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.008 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.009	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.11	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	5.93	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	3.60	0.00	3.00	0.00
RARA	1.31			
FREQ.	1.19			
Q. PERM.	1.01			

VERIFICA PARETI_SP40 BLOCCO 2 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	36	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 3.00 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 40 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 36 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 144.91 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.75 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0021 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 4000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 167.40 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.465$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 144.91 \text{ kN} > V_{Ed} = 3.00 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$M_{Ed} = 3.60 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

dove:

$$A_{S,compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S,tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 40 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 36 \quad \text{cm}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	109.14	kNm	>	$M_{Ed} =$	3.60	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	-------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	1.31	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			7.57	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			109 248	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.09	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	5.11	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1.01	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	7.57	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	109 248	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 3.94 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00078 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00001$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 10.81 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.008 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.005	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1.19	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ 14	+	Φ =	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ 14	+	Φ =	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 15.39 \quad \text{cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} = 7.57 \quad \text{cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 109\,248 \quad \text{cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 4.64 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00078 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00001$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff\,1} = 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,2} = (h - x) / 3 = 10.81 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,3} = h / 2 = 20.00 \quad \text{cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff\,i}) * b = 1000.00 \quad \text{cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.008$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \quad \text{cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.006 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.07 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 3.94 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

7.4.2.4 Spessore 30cm

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	40.29	0.00	49.58	950
RARA	2.63			
FREQ.	2.04			
Q. PERM.	1.97			

VERIFICA PARETI_SP30 BLOCCO 2 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 49.58 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 49.58 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 40.29 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	40.29	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	2.63	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.36	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	19.42	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1.97	kNm					
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²	
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²	

con:

$b =$	100	cm		$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm		$d =$	26	cm
$n =$	15					

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00					
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²				
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$				5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				41 370	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 14.55 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00082 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00004$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.018	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	2.04	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 15.06 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00081 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00004$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.018 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.27 \text{ MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 14.55 \text{ MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

	M_{ED} [kNm/m]	N*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	18.75	0.00	35.57	0.00
RARA	4.43			
FREQ.	3.70			
Q. PERM.	3.65			

VERIFICA PARETI_SP30 BLOCCO 2 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 35.57 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 35.57 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 18.75 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	18.75	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	4.43	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				5.64	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				41 370	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.60	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	32.71	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	3.65	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 26.95 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00076 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00008$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.033	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	3.70	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ 12	+	Φ =	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ 12	+	Φ =	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 27.32 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00075 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00008$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.033	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.50	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	26.95	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

7.4.3 Verifiche della soletta a quota 51.40 m s.l.m

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	7.44	0.00	30.49	0.00
RARA	3.16			
FREQ.	3.09			
Q. PERM.	3.03			

VERIFICA SOLETTA (INFERIORE) BLOCCO 2 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 30.49 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 30.49 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 7.44 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	7.44	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	-------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	3.16	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.43	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	23.33	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	3.03	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	5.64	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 22.37 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00078 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00006$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.027	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	3.09	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ 12	+	Φ =	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ 12	+	Φ =	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 22.81 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00078 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00007$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.028	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.41	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	22.37	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	21.90	0.00	86.16	0.00
RARA	4.63			
FREQ.	4.61			
Q. PERM.	4.61			

VERIFICA SOLETTA (INFERIORE) BLOCCO 2 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	86.16	kN				
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$
$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$
$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$
$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \text{ kN} > V_{Ed} = 86.16 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 21.90 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	21.90	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	4.63	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.63	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	34.19	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	4.61	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 34.04 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = \frac{-0.00072}{E_s} < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{0.00010}{E_s}$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.042	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	4.61	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 34.04 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00072 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00010$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.042	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.63	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	34.04	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

7.4.4 Verifiche delle solette a quota 55.92 m s.l.m

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	18.18	0.00	29.54	0.00
RARA	12.48			
FREQ.	12.41			
Q. PERM.	12.31			

VERIFICA SOLETTA INTERMEDIA BLOCCO 4 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 29.54 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 26 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \text{ kN} > V_{Ed} = 29.54 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 18.18 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	18.18	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	12.48	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.70	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	92.15	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	12.31	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	5.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 90.89 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00045 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00026$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.111	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	12.41	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ 12	+	Φ =	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ 12	+	Φ =	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 91.63 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00045 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00026$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.112 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 1.68 \text{ MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 90.89 \text{ MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	16.06	0.00	33.97	0.00
RARA	11.10			
FREQ.	11.09			
Q. PERM.	11.06			

VERIFICA SOLETTA INTERMEDIA BLOCCO 4 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	33.97	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$
$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$
$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$
$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \text{ kN} > V_{Ed} = 33.97 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 16.06 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	16.06	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	11.10	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.51	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	81.96	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	11.06	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	5.64	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 81.66 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00050 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00023$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.100	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	11.09	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ 12	+	Φ =	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ 12	+	Φ =	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 81.88 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00049 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00023$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.100	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.51	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	81.66	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

7.4.5 Verifiche della soletta di copertura

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	40.23	0.00	108.16	0.00
RARA	19.17			
FREQ.	18.97			
Q. PERM.	15.67			

VERIFICA SOLETTA SUPERIORE BLOCCO 4 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 108.16 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 125.45 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 125.45 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 108.16 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 40.23 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	79.02	kNm	>	$M_{Ed} =$	40.23	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	19.17	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			6.33	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			53 751	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.26	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	105.24	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	15.67	kNm					
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²	
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²	

con:

$b =$	100	cm		$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm		$d =$	26	cm
$n =$	15					

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00					
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²				
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				6.33	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				53 751	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 86.02 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00023 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00025$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 789.06 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.093	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	18.97	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	6.33	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	53 751	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 104.14 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00015 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00030$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 789.06 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.113	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.84	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	86.02	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	28.91	0.00	81.84	0.00
RARA	14.21			
FREQ.	14.13			
Q. PERM.	11.94			

VERIFICA SOLETTA SUPERIORE BLOCCO 4 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 81.84 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

con: $\gamma_c = 2$

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 125.45 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 125.45 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 81.84 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 28.91 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	79.02	kNm	>	$M_{Ed} =$	28.91	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	14.21	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			6.33	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			53 751	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.67	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	78.01	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	11.94	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	6.33	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	53 751	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 65.55 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00033 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00019$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 789.06 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.071	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	14.13	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.33	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	53 751	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 77.57 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00027 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00022$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 789.06 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.084	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.41	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	65.55	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

8 Canale di scarico (Blocco 3)

8.1 Descrizione del blocco

All'interno di questo blocco sono compresi il canale di scarico inferiore e il tratto finale del canale di scarico superiore (in continuazione del tratto compreso nel blocco 2). Il canale inferiore sarà del tutto simile a quello di alimentazione, con sezione quadrata di dimensioni interne 2.50x2.50 m e dotato di scivolo nella parte raccordata alla camera delle idrovore sagomato con pendenza del 20%. La sezione del canale di scarico superiore risulterà anch'essa quadrata, di dimensioni interne 2.50x2.50 m. Canale inferiore e superiore differiscono nelle caratteristiche geometriche delle bocche di uscita nel muro di testa: per il canale inferiore sarà larga 2.50 m e alta 2.00 m, mentre la bocca di uscita del canale superiore sarà larga 2.00 m e alta 2.50 m (si veda la sez. D-D di TAV. 7.3). I muri esterni avranno spessore pari a 30 cm, lo stesso per le due solette poste rispettivamente a quota 51.40 m s.l.m. (fondo del canale di scarico superiore) e a quota 54.20 m s.l.m. (soletta di copertura). La platea di fondazione spessa 40 cm verrà gettata sopra uno strato di magrone di spessore 10 cm.

I materiali impiegati per la realizzazione dell'opera sono descritti al Capitolo 5.3.

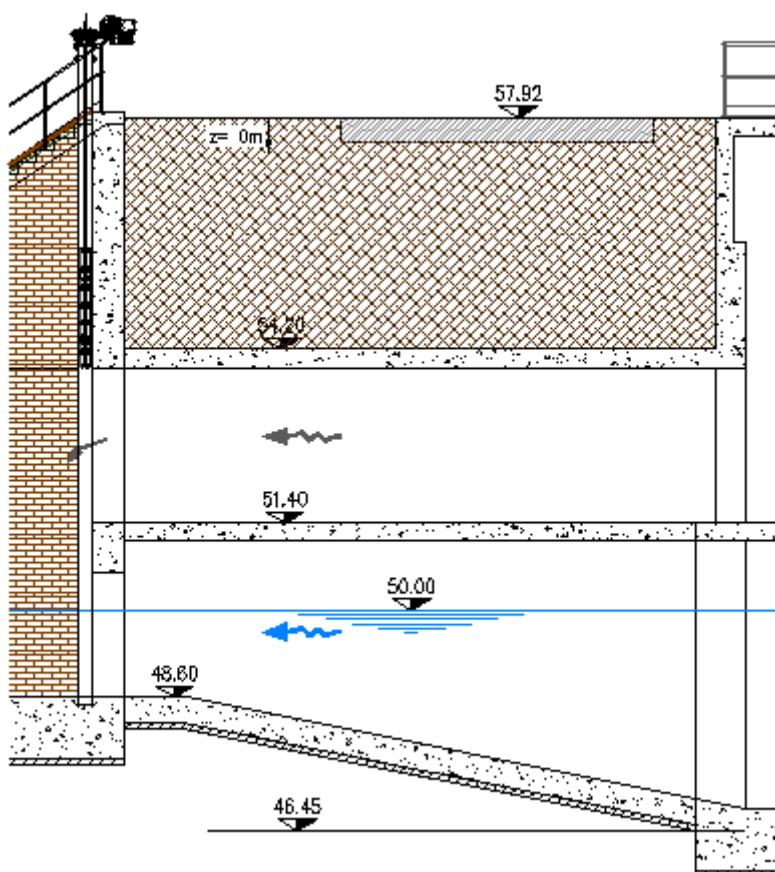


Figura 8.1 Canale di scarico - Sezione longitudinale

8.2 Descrizione dei carichi e delle loro combinazioni

In accordo con la normativa vigente (NTC18, §2.6), le verifiche sono state condotte nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) e degli stati limite di esercizio (SLE), per garantire la stabilità e l'efficienza prestazionale delle opere in progetto.

Per le verifiche agli stati limite è stato applicato l'Approccio 2, con combinazione A1+M1+R3 (NTC18, §6.5.3). I valori dei coefficienti parziali adottati sono indicati nelle tabelle NTC18, Tabb. 6.2.I, 6.2.II, 6.5.I, riportate al Capitolo 6.2.

Oltre al peso proprio degli elementi strutturali, sono stati considerati i carichi di seguito elencati. Cautelativamente non è stata considerata la presenza di acqua all'interno del manufatto, ove favorevole; la soletta che divide longitudinalmente il manufatto ha di fatto dimensioni identiche a quella a copertura del manufatto, la quale subisce azioni di carico ben maggiori. Pertanto, verranno omesse le verifiche strutturali per quanto riguarda la soletta posta a quota 51.40 m s.l.m., prevedendo per essa la stessa armatura di quella calcolata per la soletta di copertura a quota 54.20 m s.l.m. Allo stesso modo, si è considerato il terreno come completamente saturo, con livello di falda posto alla quota della strada di servizio a 57.92 m s.l.m.

Il contributo allo stato di carico dato dalla neve in termini di sovraccarico sulla soletta e di sovraspinta sulle pareti è risultato irrilevante per il blocco in questione.

Nella tabella sottostante sono riportate le azioni considerate e le combinazioni con le quali sono state applicate durante la modellazione del blocco, secondo quanto disposto dalla normativa (NTC, §2.5.2, §2.5.3 - Tab. 2.5.I, categoria G).

Azioni	Coefficienti delle combinazioni							
	SLU FONDAMENTALE		SLE CARATTERISTICA (RARA)		SLE FREQUENTI		SLE QUASI.P.	SISMICA
	SLU FOND.1	SLU FOND.2	R1	R2	F1	F2	QP	SISMICA
Permanenti strutturali								
Elementi strutturali								
Peso proprio	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Terreno e acqua								
Peso del terreno saturo	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Spinta del terreno saturo	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sottospinta dell'acqua	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Variabili								
Persone e mezzi in superficie								
Sovraccarico distribuito	1.50	1.50 · 0.70	1.00	0.70	0.50	0.30	0.30	0.30
Sovraspinta su pareti	1.50	1.50 · 0.70	1.00	0.70	0.50	0.30	0.30	0.30
Persone e mezzi su strada								
Sovraccarico concentrato	1.50 · 0.70	1.50	0.70	1.00	0.30	0.50	0.30	0.30
Sovraspinta su pareti	1.50 · 0.70	1.50	0.70	1.00	0.30	0.50	0.30	0.30
Sisma								
Elementi strutturali								
Forze inerziali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Terreno e acqua								
Sovraspinta su pareti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabella 8.1 Canale di scarico (blocco 3) - Combinazioni e coefficienti parziali

8.2.1 Azioni dovute al terreno e all'acqua

Considerando le indagini descritte nella relazione "R02 – Relazione geologica" e i parametri caratteristici dei terreni riportati nella "R03 – Relazione geotecnica e sismica", sono stati assunti i valori per i parametri di interesse delle analisi strutturali riportati in Tabella 6.2.

- Spinta del terreno saturo (carico permanente strutturale sfavorevole)

La pressione esercitata dalle terre è stata calcolata sulla base della seguente formula

$$q_t(z) \cong \gamma'_t \cdot k_A \cdot z - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_A} + z \cdot \gamma_w$$

dove:

- z è la quota del terreno rispetto al piano campagna;
- γ'_t è il peso del terreno in condizioni immerse;
- γ_w è il peso dell'acqua,
- $k_A = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'}$ è il coefficiente di spinta attiva del terreno;
- ϕ' è l'angolo di attrito del terreno;
- c' è la coesione efficace del terreno.

Si ricavano così i valori limite della distribuzione lineare di q_t :

$$q_t(z = 3.70 \text{ m}) = 4.14 \cdot 3.70 - 15.45 + 9.81 \cdot 3.70 \cong 36.15 \text{ kPa}$$

$$q_t(z = 11.50 \text{ m}) = 4.14 \cdot 11.50 - 15.45 + 9.81 \cdot 11.50 \cong 145.00 \text{ kPa}$$

- Peso del terreno saturo (carico permanente strutturale sfavorevole)

Il peso del terreno gravante sulla copertura del canale è dato da:

$$p_t(z) \cong \gamma_{t_{sat}} \cdot z$$

dove:

- $\gamma_{t_{sat}}$ è il peso del terreno in condizioni sature (Tabella 6.2).

Si ricava quindi il valore costante di p_t pari a:

$$p_t(z = 3.70 \text{ m}) \cong 19.00 \cdot 3.70 \cong 70.30 \text{ kPa}$$

- Sottospinta dell'acqua (carico permanente strutturale sfavorevole)

La sottospinta dell'acqua relativa al tirante di falda posto a piano campagna vale:

$$U(z) \cong \gamma_w \cdot z$$

Si ricava quindi la distribuzione di U al di sotto della platea, variabile tra i valori sotto riportati e relativi alle due estremità del piano di posa del manufatto. :

$$U(z = 9.80) \cong 9.81 \cdot 9.80 \cong 96.15 \text{ kPa}$$

$$U(z = 11.50 \text{ m}) \cong 9.81 \cdot 11.50 \cong 112.80 \text{ kPa}$$

8.2.2 Azioni dovute alle persone e ai mezzi in superficie

Il contributo allo stato di carico dato dai mezzi e dalle persone che possono accedere alla sommità dell'argine è stato considerato in ottemperanza di quanto disposto dalla normativa NTC18, Tab. 3.1.II, già riportata al Capitolo 6.2.3.

- Sovraccarico distribuito (carico variabile sfavorevole)

Con riferimento alla categoria d'uso dell'opera G, il valore dei sovraccarichi risultanti dalla presenza di persone e mezzi al piano campagna soprastante il manufatto è pari a:

$$p_k \cong 5.00 \text{ kPa}$$

Secondo lo schema di trasmissione degli sforzi attraverso il terreno schematizzazione introdotta al Capitolo 6.2.2, il sovraccarico effettivo risulta

$$p_{k_{eff}}(z = 3.70) \cong 1.50 \text{ kPa}$$

- Sovraspinta sulle pareti (carico variabile sfavorevole)

Previo la definizione degli sforzi verticali trasmessi dal terreno alle varie quote a cui si sviluppano le pareti verticali del manufatto, è stato possibile calcolare la pressione orizzontale da esse subita:

$$q_{seff}(z = 3.70 \text{ m}) \cong p_{k_{eff}}(z = 3.70 \text{ m}) \cdot k_A \cong 0.70 \text{ kPa}$$

$$p_{seff}(z = 11.50 \text{ m}) \cong 0.45 \text{ kPa}$$

$$q_{seff}(z = 11.50 \text{ m}) \cong p_{seff}(z = 11.50 \text{ m}) \cdot k_A \cong 0.20 \text{ kPa}$$

I valori intermedi sono ottenuti tramite l'interpolazione lineare di quelli estremi.

8.2.3 Azioni dovute ai mezzi sulla strada di servizio

Il carico concentrato dato dalle ruote dei mezzi transitanti sulla strada di servizio $h_{k_{strada}}$ è applicato, secondo quanto normato (NTC18, Tab. 5.1.IX. riportata al Capitolo 6.2.4), su due impronte di 320x270mm distanti assialmente 2.00 m. Il carico su ogni impronta $p_{k_{strada}}$ è pari a:

$$h_{k_{strada}} \cong 50.00 \text{ kN} \rightarrow p_{k_{strada}} \cong \frac{50.00}{0.27 \cdot 0.32} \cong 580.00 \text{ kPa}$$

- Sovraccarico concentrato (carico variabile sfavorevole)

Secondo lo schema di trasmissione degli sforzi attraverso il terreno schematizzato al Capitolo 6.2.2, il sovraccarico effettivo per singola ruota risulta

$$p_{k_{strada_{eff}}}(z = 3.70) \cong 3.20 \text{ kPa}$$

- Sovraspinta sulle pareti (carico variabile sfavorevole)

Il carico $p_{k_{strada}}$ (Figura 7.2), genera una sovrappressione $q_{k_{strada}}(z)$ sulle pareti laterali della struttura.

La distribuzione dei valori della sovrappressione lungo la parete è data dall'interpolazione dei due valori limite, calcolati previa la definizione del valore effettivo del carico verticale trasmesso dal terreno, $p_{k_{strada_{eff}}}$, secondo la schematizzazione introdotta al Capitolo 6.2.2.

$$q_{k_{strada}}(z = 3.70 \text{ m}) \cong p_{k_{strada_{eff}}}(z = 3.70 \text{ m}) \cdot k_A \cong 3.20 \cdot 0.46 \cong 1.50 \text{ kPa}$$

$$q_{k_{strada}}(z = 11.50 \text{ m}) \cong p_{k_{strada_{eff}}}(z = 11.50 \text{ m}) \cdot k_A \cong 0.40 \cdot 0.46 = 0.20 \text{ kPa}$$

I valori trovati si riferiscono alla singola ruota.

8.2.4 Azioni dovute a sisma agente sulla struttura

Le analisi sismiche, di cui al Capitolo 5.4, hanno permesso la stima dei coefficienti sismici, utili ora per la valutazione delle forze inerziali e delle sovraspinte agenti sulla struttura in caso di sisma.

- Forze inerziali degli elementi strutturali

Gli effetti del sisma sulle parti strutturali dell'opera sono simulati mediante l'applicazione di carichi gravitazionali, dati dal prodotto del peso di ogni elemento per il relativo coefficiente sismico. L'effetto dell'azione sismica è stato simulato attraverso l'involuppo delle azioni agenti nelle 4 direzioni planari (come da normativa NTC18, §7.3.5).

- Sovraspinta del terreno e dell'acqua sulle pareti

Le azioni agenti sulle pareti ricevono, in condizioni sismiche, un incremento dato dal valore caratteristico moltiplicato per il coefficiente sismico k_h .

8.3 Modellazione e risultati delle analisi

Applicando ai valori caratteristici ricavati nel Capitolo 8.2 i coefficienti delle diverse combinazioni riportati in Tabella 8.1, si ottengono i valori di progetto delle azioni con cui sono state eseguite le verifiche strutturali. Il comportamento del suolo, come specificato al Capitolo 4, è stato modellato considerando un comportamento cedevole, secondo il modulo di rigidezza di Winkler riportato anch'esso in Tabella 6.1. Nei paragrafi che seguono vengono rappresentate le distribuzioni degli sforzi sulle diverse parti strutturali e nelle diverse combinazioni di carico; nelle didascalie vengono indicati il caso più critico osservato e i valori massimi di progetto per ogni combinazione (SLU Fondamentale, SLE Caratteristica – Rara, SLE Frequenti, SLE Quasi Permanenti, Sismica) i quali saranno considerati al Capitolo 8.4 per le verifiche e i dimensionamenti. Cautelativamente, l'azione assiale è stata trascurata nelle verifiche a flessione degli elementi strutturali compressi.

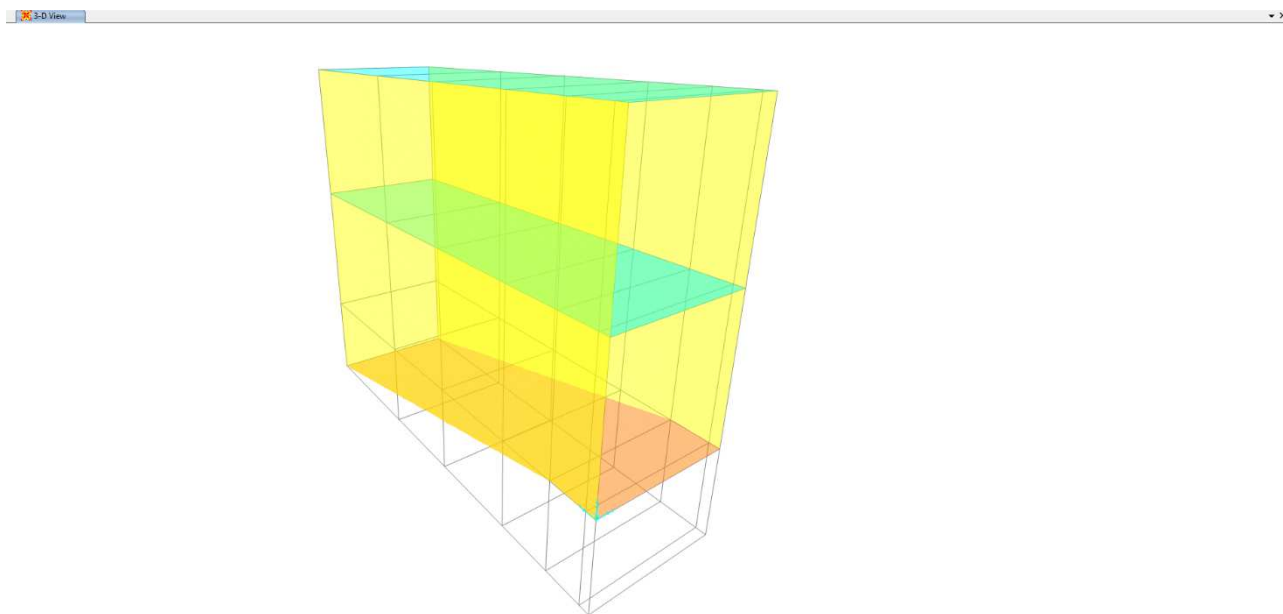


Figura 8.2 Modellazione Canale di scarico (Blocco 3)

8.3.1 Platea di fondazione

Resultant M11 Diagram (SLU MP2)

Resultant M22 Diagram (SLU MP2)

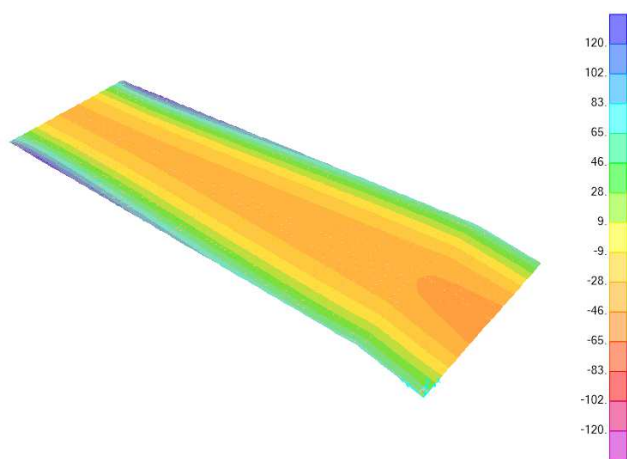


Figura 8.3 SLU FOND.2: M11, max= -131.54 kNm/m

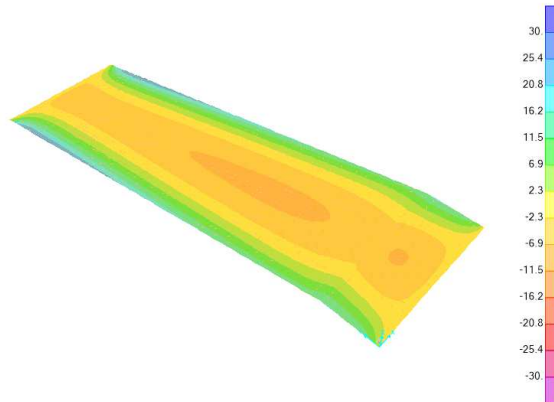


Figura 8.4 SLU FOND.2: M22, max= 25.88 kNm/m

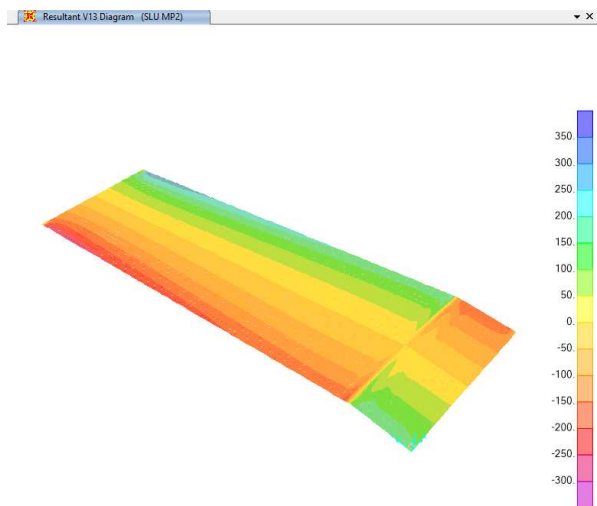


Figura 8.5 SLU FOND.2: V13, max= -165.63 kN/m

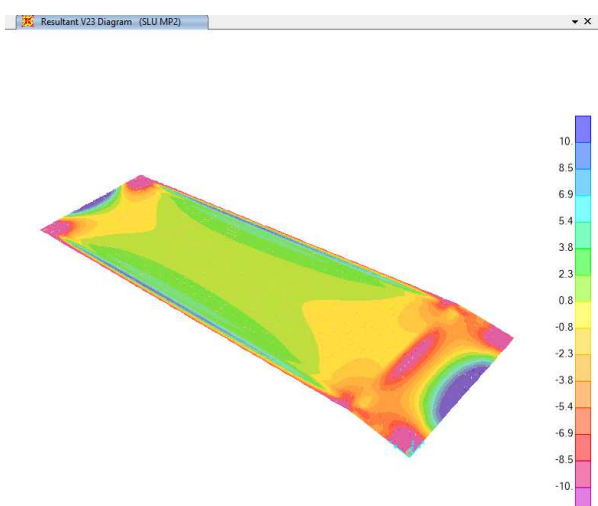


Figura 8.6 SLU. FOND2: V23, max= 45.60 kN/m

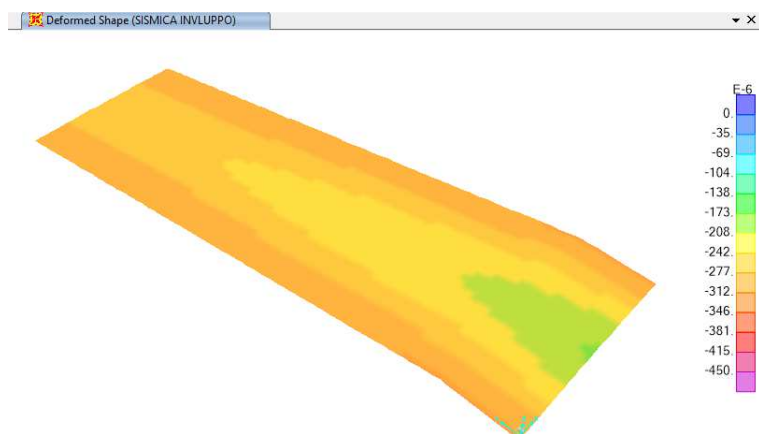


Figura 8.7 Sismica: Uz: max= -350E-6 m

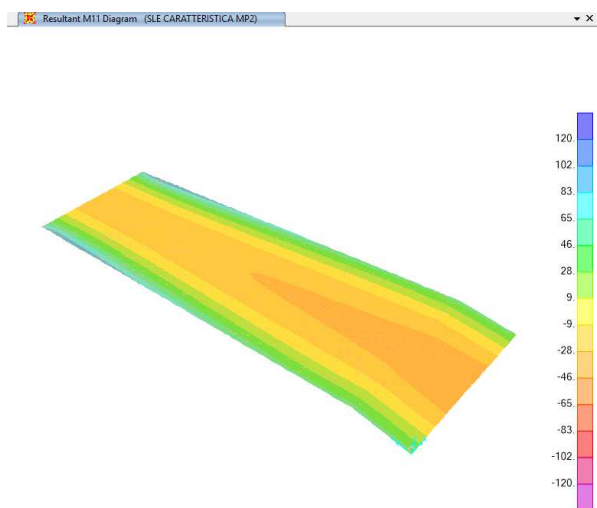


Figura 8.8 R2: M11, max= 100.82 kNm/m

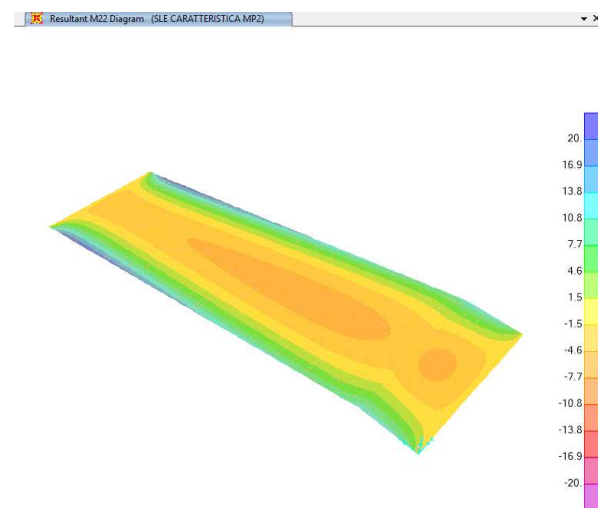


Figura 8.9 R2: M22, max= 19.85 kNm/m

Resultant M11 Diagram (SLE FRQUENTE MP2)

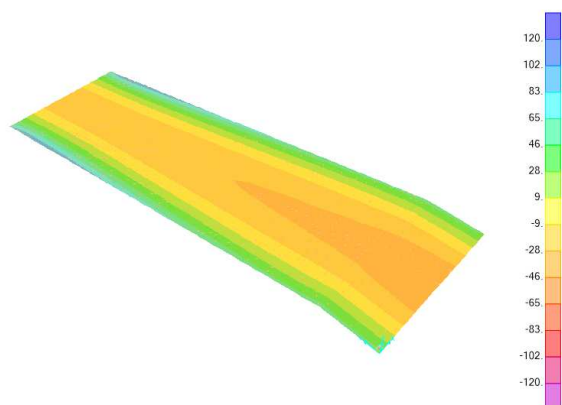


Figura 8.10 F2: M11, max= 100.05 kNm/m

Resultant M22 Diagram (SLE FRQUENTE MP2)

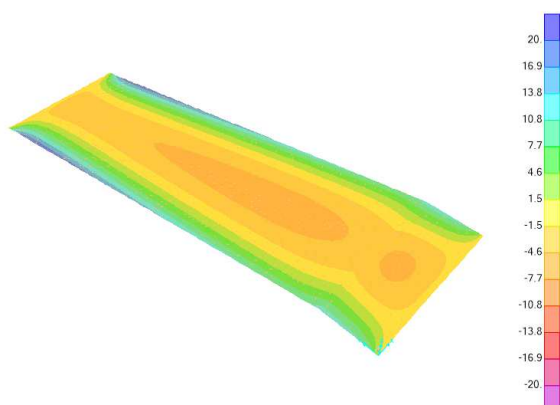


Figura 8.11 F2: M22, max= 19.70 kNm/m

Resultant M11 Diagram (SLE FRQUENTE MP2)

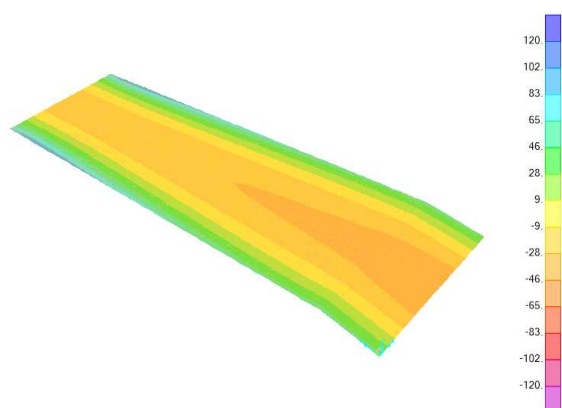


Figura 8.12 QP: M11, max= 99.83 kNm/m

Resultant M22 Diagram (SLE FRQUENTE MP2)

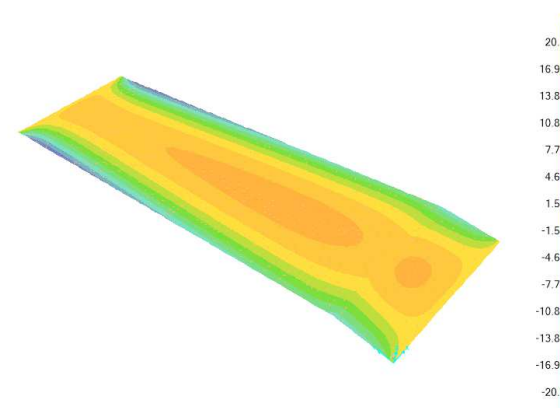


Figura 8.13 QP: M22, max= 19.66 kNm/m

8.3.2 Pareti laterali

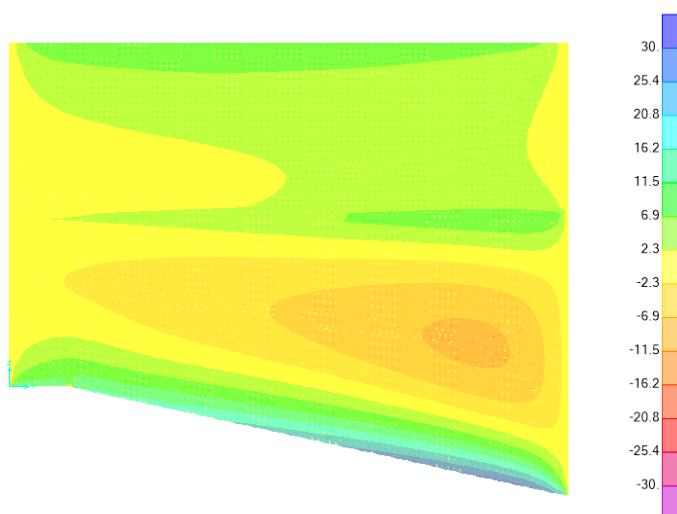


Figura 8.14 SLU FOND.2: M11, max= 30.73 kNm/m

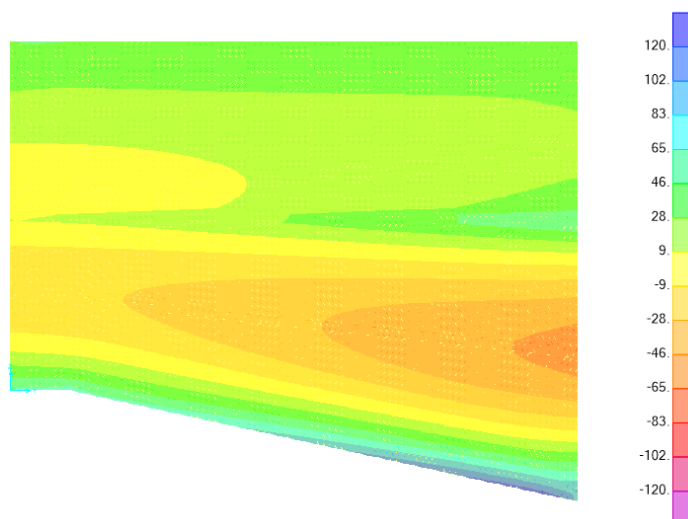


Figura 8.15 SLU FOND.2: M_{22} , max= 127.81 kNm/m

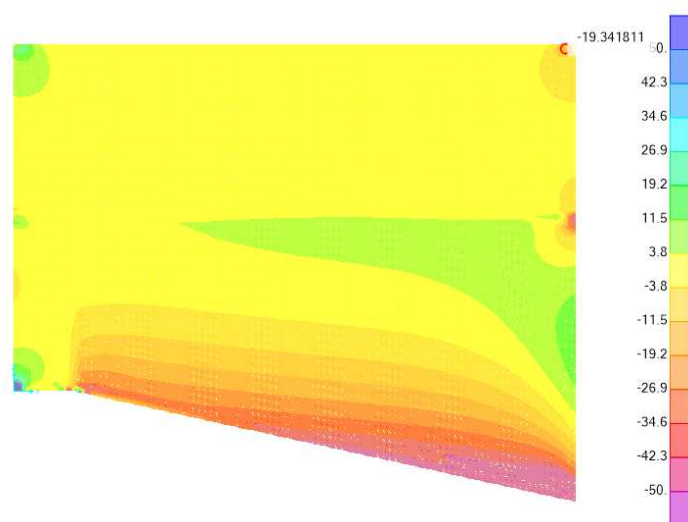


Figura 8.16 SLU FOND.2: V_{13} , max= -66.63 kN/m

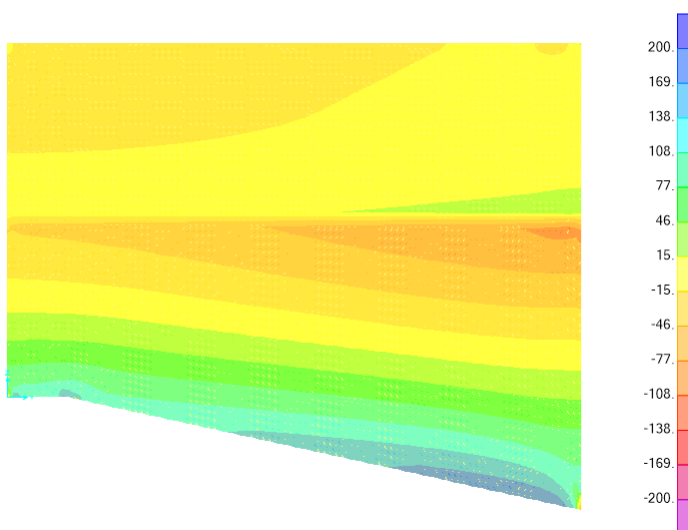


Figura 8.17 SLU FOND.2: V_{23} , max= 125.48 kN/m

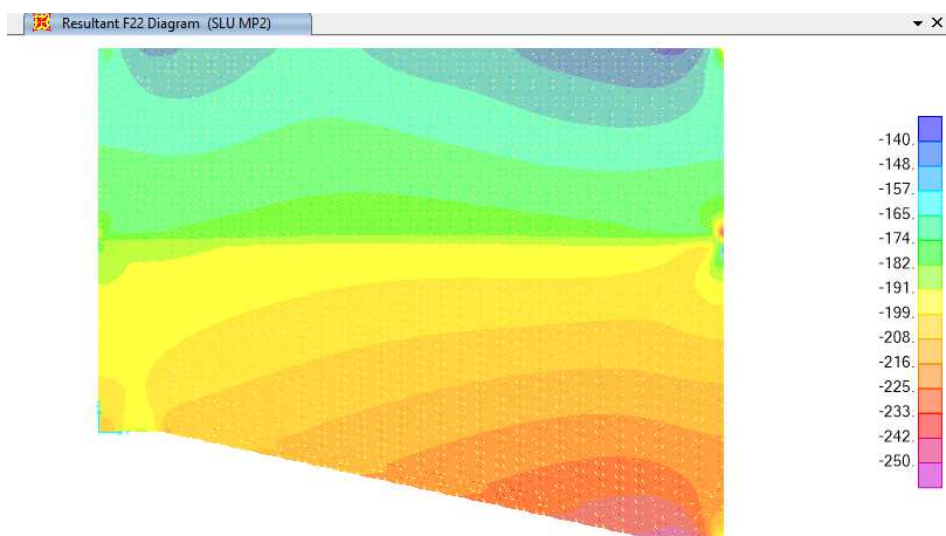


Figura 8.18 SLU FOND.2: F22, max= -257.71 kN/m

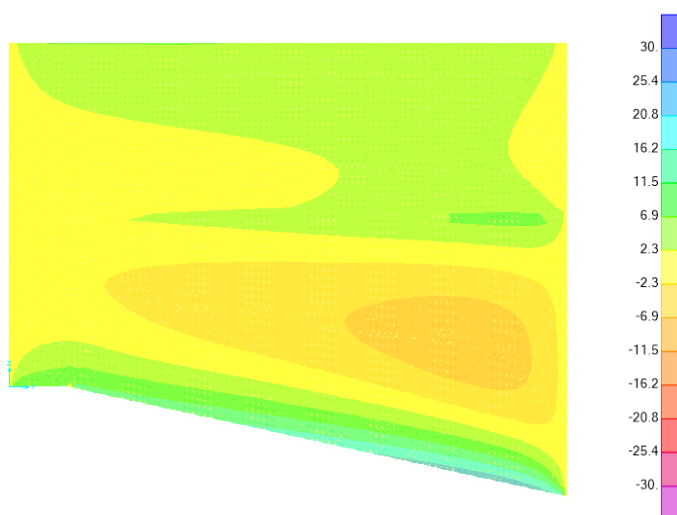


Figura 8.19 R2: M11, max= 23.55 kNm/m

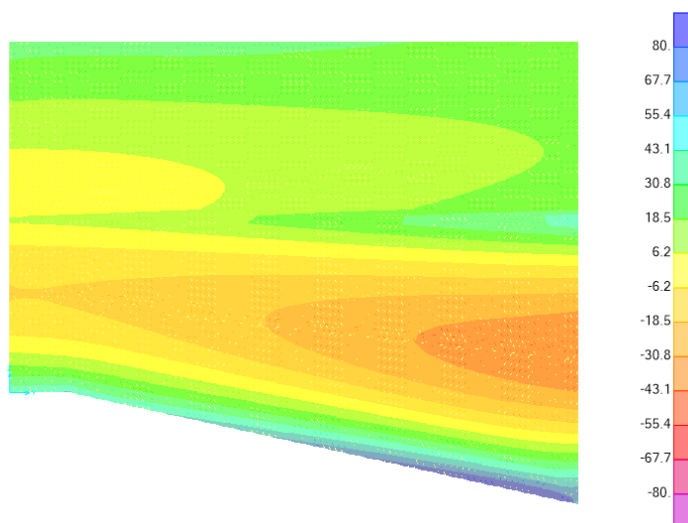


Figura 8.20 R2: M22, max= 97.96 kNm/m

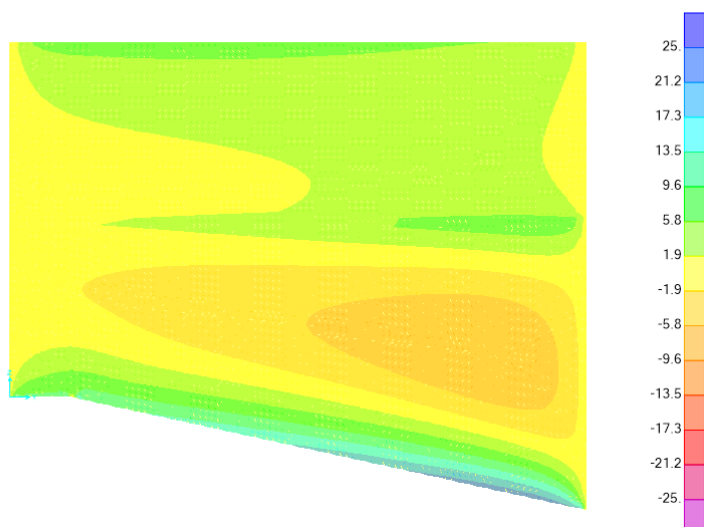


Figura 8.21 F2: M_{11} , max= 23.37 kNm/m

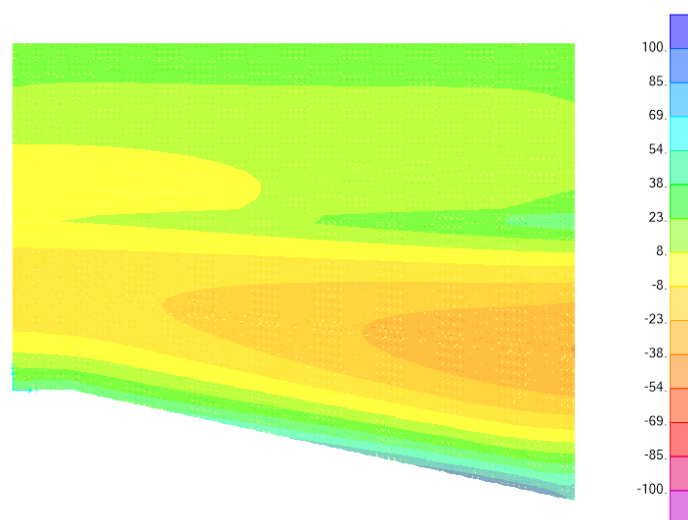


Figura 8.22 F2: M_{22} , max= 97.21kNm/m

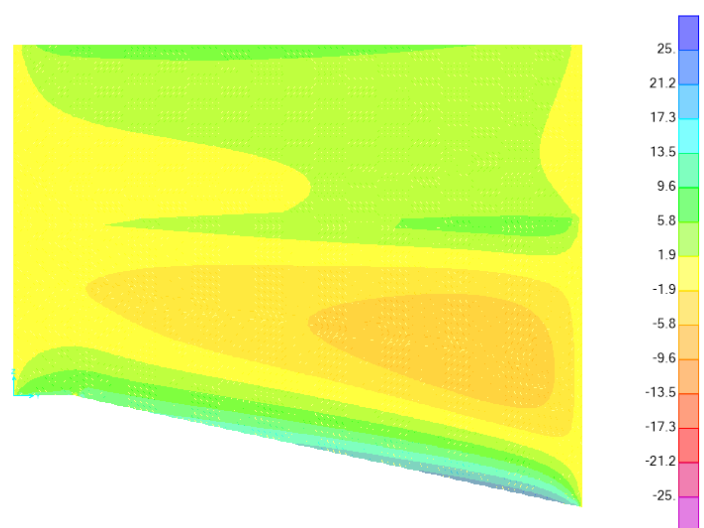


Figura 8.23 QP: M_{11} , max= 23.21 kNm/m

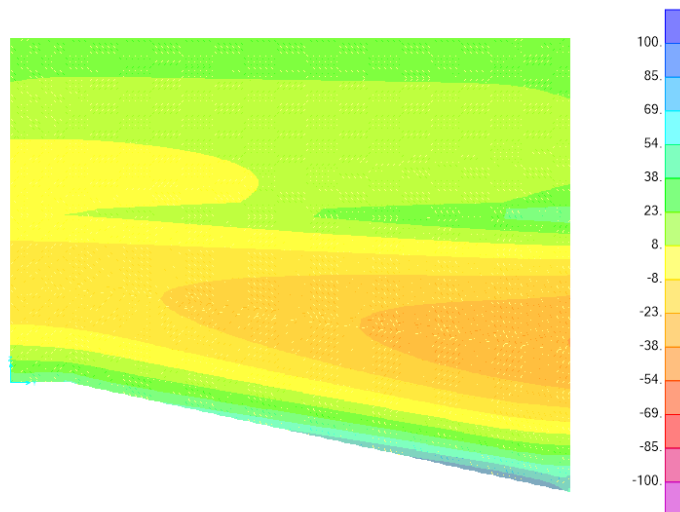


Figura 8.24 QP: M_{22} , max= 97.00 kNm/m

8.3.3 Soletta di copertura

M11 Diagram (SLU MP1)

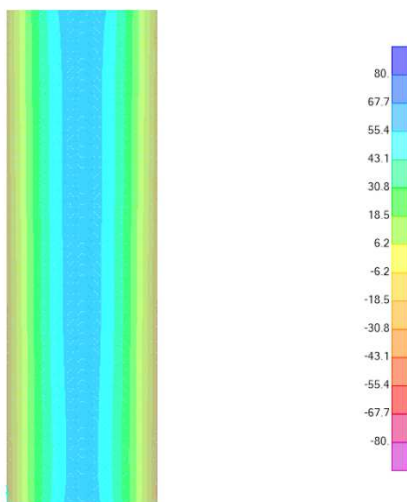


Figura 8.25 SLU FOND.1: M_{11} , max= 66.37 kNm/m

M22 Diagram (SLU MP2)

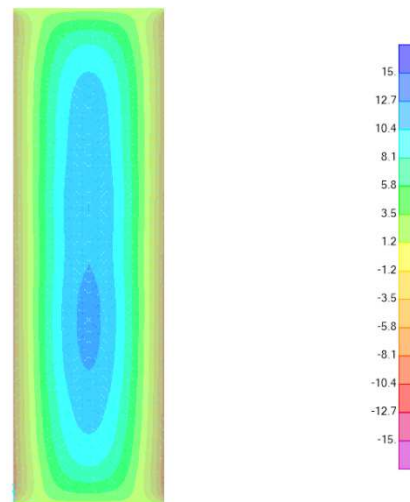


Figura 8.26 SLU FOND.2: M_{22} , max= 13.27 kNm/m

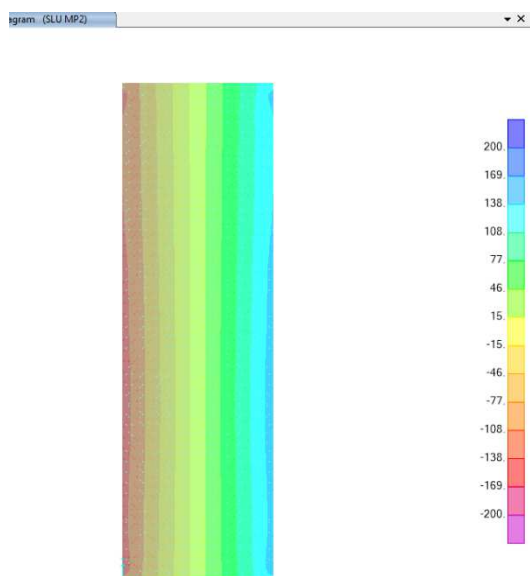


Figura 8.27 SLU FOND.2: V13, max= -133.18 kN/m

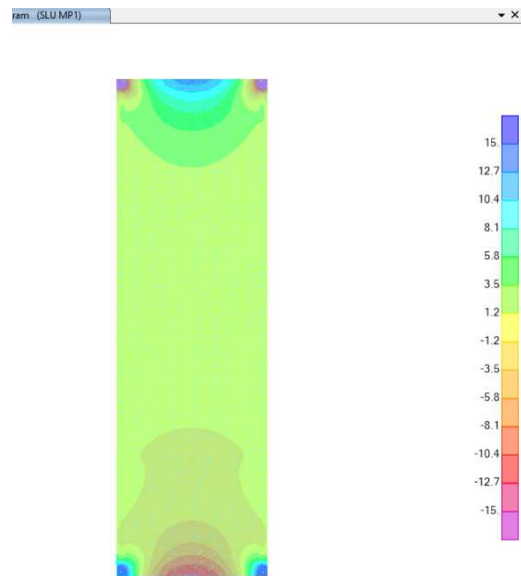


Figura 8.28 SLU FOND.1: V23, max= 13.90 kN/m

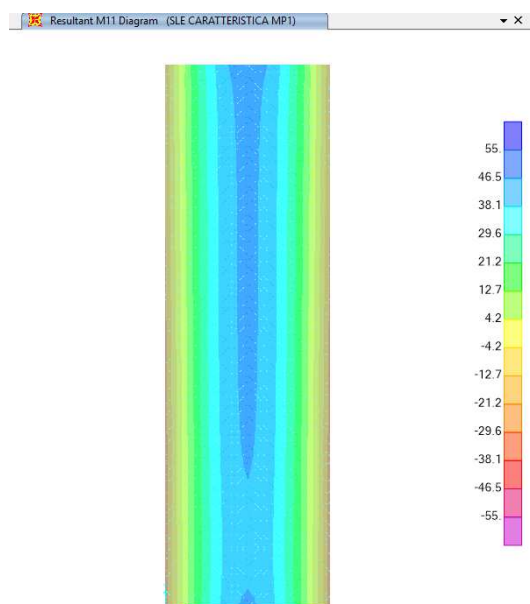


Figura 8.29 R1: M11, max= 51.01 kNm/m

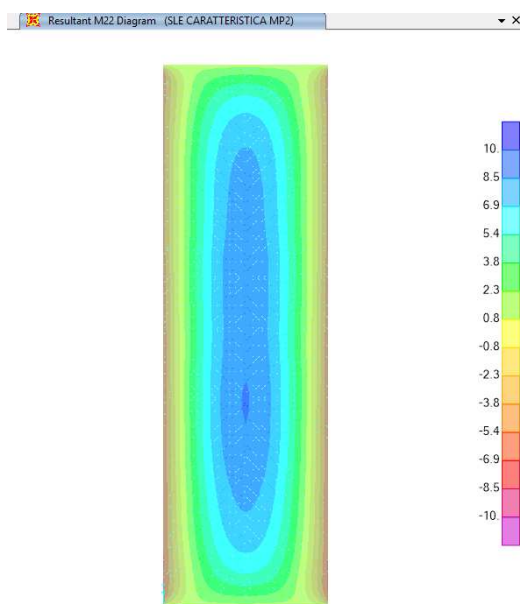


Figura 8.30 R2: M22, max= 10.05 kNm/m

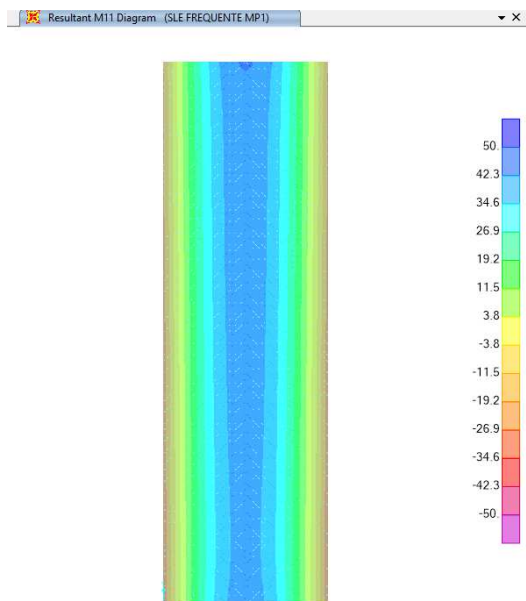


Figura 8.31 F1: M11, max= 50.87 kNm/m

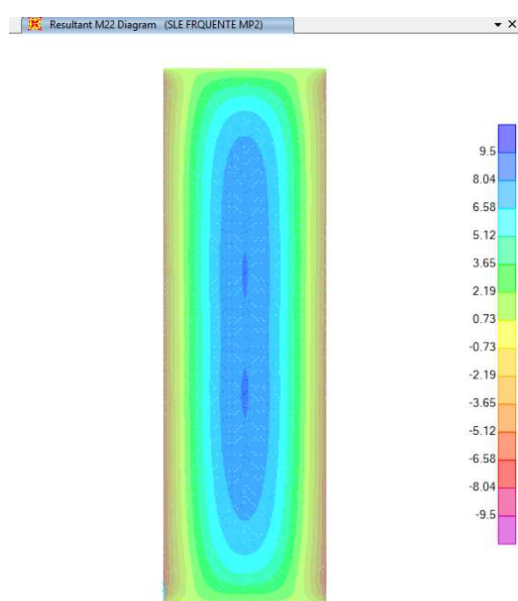


Figura 8.32 F2: M22: max= 9.55 kNm/m

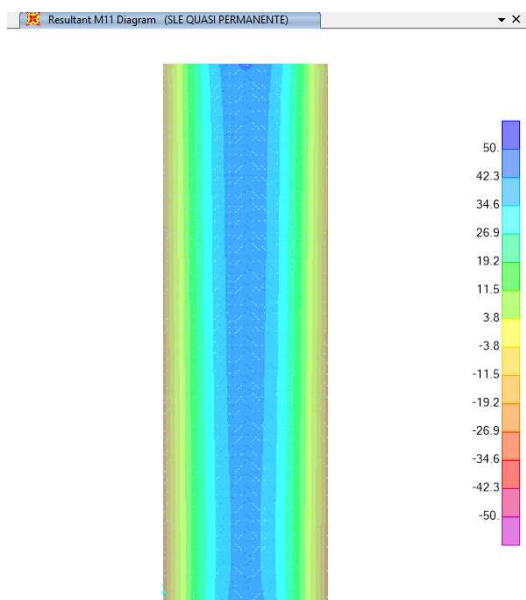


Figura 8.33 QP: M11, max= 50.72 kNm/m

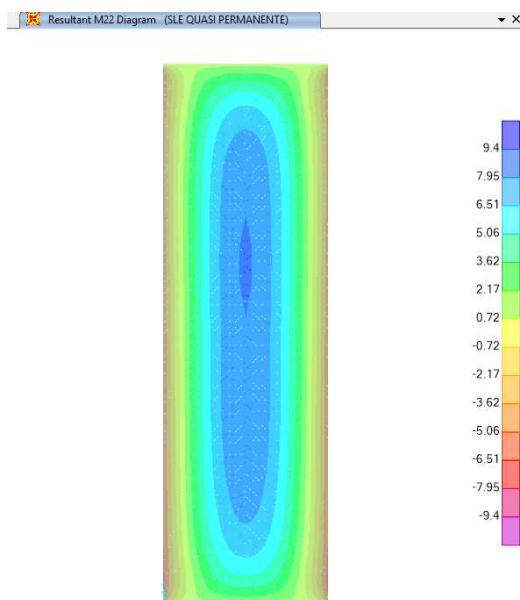


Figura 8.34 QP: M22, max= 9.50 kNm/m

8.4 Verifiche effettuate

8.4.1 Verifiche della platea di fondazione

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	25.88	0.00	45.60	0.00
RARA	19.85			
FREQ.	19.70			
Q. PERM.	19.66			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 3 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	36	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 45.60 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 40 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 36 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 130.75 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.75 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0016 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 4000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 167.40 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.465$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 130.75 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 45.60 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 25.88 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 40 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 36 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	82.71	kNm	>	$M_{Ed} =$	25.88	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	19.85	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			6.71	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			83 463	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.60	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	104.48	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	19.66	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.71	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	83 463	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 103.48 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00059 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00030$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 11.10 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.68 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.147	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	19.70	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ12	+	Φ =	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ12	+	Φ =	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 11.31 \quad \text{cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 6.71 \quad \text{cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 83\,463 \quad \text{cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 103.69 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00059 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00030$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\,1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\,2} &= (h - x) / 3 = 11.10 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\,3} &= h / 2 = 20.00 \quad \text{cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\,i}) * b = 1000.00 \quad \text{cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.68 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.147 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 1.58 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 103.48 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	131.54	0.00	165.63	0.00
RARA	100.82			
FREQ.	100.05			
Q. PERM.	99.83			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 3 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	36	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 165.63 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \quad \text{cm}^2$$

con: 2

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 40 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 36 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 183.80 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.75 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0044 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 4000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 167.40 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.465$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 167.40 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 165.63 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 131.54 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 40 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 36 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 539\,876 \quad x \quad - 46\,181\,412 = 0$$

$$x = 4.01 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 2.28 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	210.94	kNm	>	$M_{Ed} =$	131.54	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	100.82	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			9.80	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			201 038	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	4.92	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	197.06	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	99.83	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	9.80	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	201 038	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 195.13 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00052 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00056$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 10.07 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.25 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.196	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	100.05	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ20	+	Φ =	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ20	+	Φ =	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	9.80	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	201 038	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 195.56 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = \mathbf{0.00052} < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = \mathbf{0.00056}$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 10.07 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \quad \text{cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \quad \text{cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.25 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.197	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	4.87	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	195.13	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	---------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

8.4.2 Verifiche delle pareti laterali

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	127.81	0.00	125.48	257.71
RARA	97.96			
FREQ.	97.21			
Q. PERM.	97.00			

VERIFICA PARETI BLOCCO 3 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 125.48 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 26 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 159.12 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0060 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 134.84 \text{ kN} > V_{Ed} = 125.48 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 127.81 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 539\,876 \quad x \quad - 46\,181\,412 = 0$$

$$x = 4.01 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 2.28 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	149.47	kNm	>	$M_{Ed} =$	127.81	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	97.96	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				8.08	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				97 170	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	8.14	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	271.03	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	97.00	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	8.08	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	97 170	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 268.37 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00097 \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00077$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.31 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 730.75 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.021 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 29.42 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.200	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	97.21	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ20	+	Φ =	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ20	+	Φ =	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	8.08	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	97 170	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 268.95 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = \mathbf{0.00097} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = \mathbf{0.00077}$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.31 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 730.75 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.021 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 29.42 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.285	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	8.06	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	268.37	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	---------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	30.73	0.00	66.63	0.00
RARA	23.55			
FREQ.	23.37			
Q. PERM.	23.31			

VERIFICA PARETI BLOCCO 3 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$V_{Ed, base} =$	66.63	kN					
$A_{S, compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm^2	
$A_{S, tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm^2	

con:

2

$b_w = b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 125.45 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$
$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$
$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$
$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 125.45 \text{ kN} > V_{Ed} = 66.63 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 30.73 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	79.02	kNm	>	$M_{Ed} =$	30.73	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	23.55	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			6.33	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			53 751	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.77	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	129.28	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	23.31	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm		$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm		$d =$	26	cm
$n =$	15					

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00					
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²				
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				6.33	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				53 751	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 127.96 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00003 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00037$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 789.06 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.139	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	23.37	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 15.39 \quad \text{cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 6.33 \quad \text{cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 53\,751 \quad \text{cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 128.29 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00003 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00037$$

$$\kappa_t = 0.4$$

$$h_{c,eff\,1} = 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,2} = (h - x) / 3 = 7.89 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,3} = h / 2 = 15.00 \quad \text{cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff\,i}) * b = 789.06 \quad \text{cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.010$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \quad \text{cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.139 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 2.74 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 127.96 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

8.4.3 Verifiche della soletta di copertura

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	13.27	0.00	13.90	0.00
RARA	10.05			
FREQ.	9.55			
Q. PERM.	9.50			

VERIFICA SOLETTA DI COPERTURA BLOCCO 3 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952	
$\beta_2 =$	0.41597	
$\epsilon_{c,2} =$	0.002	
$\epsilon_{cu} =$	0.0035	
$\epsilon_{uk} =$	0.075	
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186	
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675	

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 13.90 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 13.90 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 13.27 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	13.27	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	10.05	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.37	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	74.20	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	9.50	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 70.14 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00055 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00020$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.086	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	9.55	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 70.51 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00055 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00020$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.086	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.29	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	70.14	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	66.37	0.00	133.18	0.00
RARA	51.01			
FREQ.	50.87			
Q. PERM.	50.72			

VERIFICA SOLETTA DI COPERTURA BLOCCO 3 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33'643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210'000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 133.18 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \quad \text{cm}^2$$

con: 2

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 148.33 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0049 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3'000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 134.84 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 133.18 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 66.37 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1'303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15'230 \quad x^2 \quad + \quad 437'299 \quad x \quad - 37'406'944 = 0$$

$$x = 3.72 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -54.46 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	123.43	kNm	>	$M_{Ed} =$	66.37	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	51.01	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	7.54	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	81717	cm ⁴			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	4.71	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	172.81	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	50.72	kNm					
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²	
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²	

con:

$b =$	100	cm		$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm		$d =$	26	cm
$n =$	15					

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00					
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²				
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	7.54	cm				
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	81717	cm ⁴				

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 171.83 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00043 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00049$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.49 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 748.52 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.017 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 31.60 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.155	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	50.87	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	7.54	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	81'717	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 172.33 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00044 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00049$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.49 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \quad \text{cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 748.52 \quad \text{cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.017 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 31.60 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.156 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 4.68 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 171.83 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

9 Manufatto di sbocco – Tratto scoperto (Blocco 4)

9.1 Descrizione del blocco

Il manufatto di sbocco, nel suo tratto parzialmente scoperto, poggerà su una platea di fondazione, con dimensioni in pianta 9.95x7.10 m e di spessore 100 cm, e sarà costituito dal muro di testa, lungo il quale scorrerà la paratoia di esclusione della chiavica, e dai due muri d'ala. Il muro di testa avrà altezza pari a 9.32 m e spessore 50 cm, mentre i muri d'ala avranno altezza variabile tra 9.32 m e 3.10 m e spessore variabile da tra 30 cm in sommità a 100 cm alla base (si veda sempre la sez. D-D di TAV. 7.3). All'interno del blocco è compresa anche parte della soletta che, proseguendo nel blocco 5, renderà di fatto coperto il tratto terminale del manufatto di sbocco. Essa sarà posta a quota 51.70 m s.l.m. e avrà dimensioni planimetriche 4.36x2.65 m per uno spessore di 30 cm. All'interno della soletta verrà ricavata un'asola entro la quale sarà alloggiata una scaletta per l'ispezione del canale da parte del personale di Aipo. Lungo la scarpata sarà inoltre presente una scala in c.a. di collegamento fra la sommità arginale e la soletta di copertura. La platea di fondazione verrà gettata sopra uno strato di magrone di spessore 10 cm.

I materiali impiegati per la realizzazione dell'opera sono descritti al Capitolo 5.3.

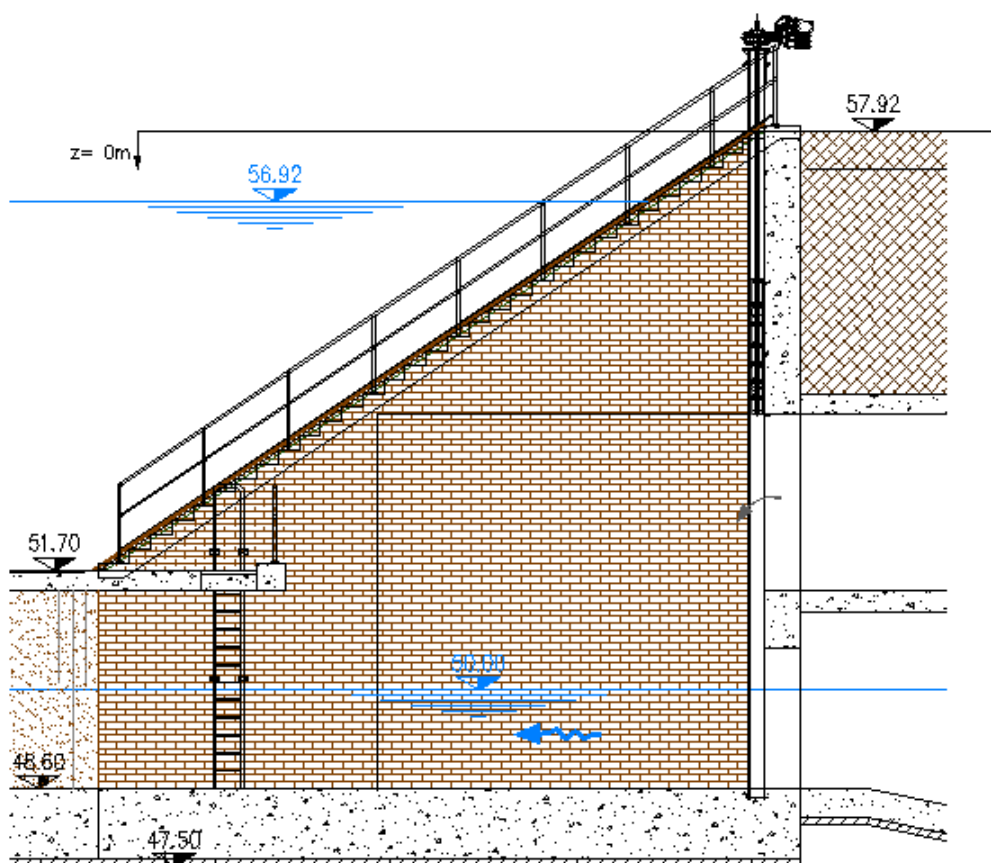


Figura 9.1 Manufatto di sbocco - tratto scoperto (blocco 4) - Sezione longitudinale

9.2 Descrizione dei carichi e delle loro combinazioni

In accordo con la normativa vigente (NTC18, §2.6), le verifiche sono state condotte nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) e degli stati limite di esercizio (SLE), per garantire la stabilità e l'efficienza prestazionale delle opere in progetto.

Per le verifiche agli stati limite è stato applicato l'Approccio 2, con combinazione A1+M1+R3 (NTC18, §6.5.3). I valori dei coefficienti parziali adottati sono indicati nelle tabelle NTC18, Tabb. 6.2.I, 6.2.II, 6.5.I, riportate al Capitolo 6.2.

Oltre al peso proprio degli elementi strutturali, sono stati considerati i carichi di seguito elencati. Cautelativamente non è stata considerata la presenza di acqua all'interno del manufatto, ove favorevole. Allo stesso modo, si è considerato il terreno come completamente saturo, con livello di falda posto alla quota del piano campagna in sommità all'argine, pari a 57.92 m s.l.m.

Nella tabella sottostante sono riportate le azioni considerate e le combinazioni con le quali sono state applicate durante la modellazione del blocco, secondo quanto disposto dalla normativa (NTC, §2.5.2, §2.5.3 - Tab. 2.5.I, categoria H).

Azioni	Coefficienti delle combinazioni									
	SLU FONDAMENTALE			SLE CARATTERISTICA (RARA)			SLE FREQUENTI		SLE QUASI.P.	SISMICA
	SLU FOND.1	SLU FOND.2	SLU FOND.3	R1	R2	R3	F1	F2	QP	SISMICA
Permanenti strutturali										
Elementi strutturali										
Peso proprio	1.30	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Terreno e acqua										
Spinta del terreno saturo	1.30	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sottospinta dell'acqua	1.30	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Variabili										
Persone e mezzi in superficie										
Sovrappinta su pareti	1.50	1.50 · 0.70	1.50 · 0.70	1.00	0.70	0.70	0.50	0.30	0.30	0.30
Persone e mezzi su soletta										
Sovraccarico distribuito	1.50 · 0.70	1.50	1.50 · 0.70	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sovraccarico concentrato	1.50 · 0.70	1.50	1.50 · 0.70	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Neve										
Sovraccarico distribuito	1.50 · 0.50	1.50 · 0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	0.00	0.20	0.00	0.00
Sisma										
Elementi strutturali										
Forze inerziali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Terreno e acqua										
Sovrappinta su pareti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabella 9.1 Canale di sbocco – tratto scoperto (blocco 4) - Combinazioni e coefficienti parziali

9.2.1 Azioni dovute al terreno e all'acqua

Considerando le indagini descritte nella relazione "R02 – Relazione geologica" e i parametri caratteristici dei terreni riportati nella "R03 – Relazione geotecnica e sismica", sono stati assunti i valori per i parametri di interesse delle analisi strutturali riportati in Tabella 6.2.

- Spinta del terreno saturo (carico permanente strutturale sfavorevole)

La pressione esercitata dalle terre è stata calcolata sulla base della seguente formula

$$q_t(z) \cong \gamma'_t \cdot k_A \cdot z - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_A} + z \cdot \gamma_w$$

dove:

- z è la quota del terreno rispetto al piano campagna;
- γ'_t è il peso del terreno in condizioni immerse;
- γ_w è il peso dell'acqua,
- $k_A = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'}$ è il coefficiente di spinta attiva del terreno;
- ϕ' è l'angolo di attrito del terreno;
- c' è la coesione efficace del terreno.

Si ricavano così i valori limite della distribuzione lineare di q_t :

$$q_t(z = 0.00 \text{ m}) = 4.14 \cdot 0.00 - 15.45 + 9.81 \cdot 0.00 \cong -15.14 \text{ kPa}$$

$$q_t(z = 3.70 \text{ m}) = 4.14 \cdot 3.70 - 15.45 + 9.81 \cdot 3.70 \cong 36.20 \text{ kPa}$$

$$q_t(z = 10.40 \text{ m}) = 4.14 \cdot 10.40 - 15.45 + 9.81 \cdot 10.40 \cong 129.60 \text{ kPa}$$

- Sottospinta dell'acqua (carico permanente strutturale sfavorevole)

La sottospinta dell'acqua relativa al tirante di falda posto a piano campagna vale:

$$U(z) \cong \gamma_w \cdot h$$

dove h rappresenta l'altezza della colonna d'acqua.

Si ricava quindi il valore costante della pressione U al di sotto della platea:

$$U(h = 9.90) \cong 9.81 \cdot 9.40 \cong 92.20 \text{ kPa}$$

9.2.2 Azioni dovute alle persone e ai mezzi in superficie

Il contributo allo stato di carico dato dai mezzi e dalle persone che possono accedere alla sommità dell'argine è stato considerato in ottemperanza di quanto disposto dalla normativa NTC18, Tab. 3.1.II, già riportata al Capitolo 6.2.3.

$$p_k \cong 5.00 \text{ kPa}$$

- Sovrappinta sulle pareti (carico variabile sfavorevole)

Previo la definizione degli sforzi verticali trasmessi dal terreno alle varie quote a cui si sviluppano le pareti verticali del manufatto, è stato possibile calcolare la pressione orizzontale da esse subita, considerando la schematizzazione riportata al Capitolo 6.2.2 per la trasmissione del sovraccarico verticale attraverso il terreno:

$$q_{seff}(z = 0.00 \text{ m}) \cong p_k \cdot k_A \cong 2.30 \text{ kPa}$$

$$p_{seff}(z = 3.70 \text{ m}) \cong 1.50 \text{ kPa}$$

$$q_{seff}(z = 3.70 \text{ m}) \cong p_{seff}(z = 3.70 \text{ m}) \cdot k_A \cong 0.70 \text{ kPa}$$

I valori intermedi sono ottenuti tramite l'interpolazione lineare di quelli estremi.

9.2.3 Azioni dovute alle persone e ai mezzi sulla soletta

Il contributo allo stato di carico dato dalle persone e dai mezzi che possono accedere alla soletta di copertura è stato considerato in ottemperanza di quanto disposto dalla normativa NTC18, Tab.

3.1.II, già riportata al Capitolo 6.2.3. Per definire la configurazione delle impronte su cui il carico viene applicato, è stata considerata la tabella delle NTC18, Tab. 5.1.IX. riportata al Capitolo 6.2.4.

Per il caso in questione è stata considerata la categoria d'uso H e la tipologia di pneumatico C. Viene considerato in questa analisi il caso più critico, in cui uno degli assi del mezzo d'opera che accede alla struttura gravi in campata alla soletta.

- Sovraccarichi concentrati (carico variabile sfavorevole)

Il carico concentrato dato dalle ruote dei mezzi transitanti sulla soletta $h_{k_{soletta}}$ è applicato, secondo quanto normato, su due impronte di 320x270mm distanti assialmente 2.00 m. Il carico su ogni impronta $p_{k_{soletta}}$ è pari a:

$$h_{k_{mezzo}} \cong 50.00 \text{ kN} \rightarrow p_{k_{mezzo}} \cong \frac{50.00}{0.27 \cdot 0.32} \cong 580.00 \text{ kPa}$$

- Sovraccarico distribuito (carico variabile sfavorevole)

Con riferimento alla categoria d'uso dell'opera H, il valore dei sovraccarichi risultanti dalla presenza di persone e mezzi sulla soletta è pari a:

$$p_{k_{soletta,2}} \cong 0.50 \text{ kPa}$$

9.2.4 Azioni dovute alla neve

La presenza della neve è stata considerata definendo il seguente carico distribuito, in accordo con la normativa (NTCC18, §3.4, estratti riportati al Capitolo 7.2.5 di questo elaborato):

- Peso della neve sulla soletta (carico variabile sfavorevole)

Considerando i valori dei coefficienti indicati dalla normativa e soprariportati, si ottiene:

$$q_s \cong q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t \cong 1.50 \cdot 0.80 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cong 1.20 \text{ kPa}$$

9.2.5 Azioni dovute a sisma agente sulla struttura

Le analisi sismiche, di cui al Capitolo 5.4, hanno permesso la stima dei coefficienti sismici, utili ora per la valutazione delle forze inerziali e delle sovraspinte agenti sulla struttura in caso di sisma.

- Forze inerziali degli elementi strutturali

Gli effetti del sisma sulle parti strutturali dell'opera sono simulati mediante l'applicazione di carichi gravitazionali, dati dal prodotto del peso di ogni elemento per il relativo coefficiente sismico. L'effetto dell'azione sismica è stato simulato attraverso l'involuppo delle azioni agenti nelle 4 direzioni planari (come da normativa NTC18, §7.3.5).

- Sovraspinta del terreno e dell'acqua sulle pareti

Le azioni agenti sulle pareti ricevono, in condizioni sismiche, un incremento dato dal valore caratteristico moltiplicato per il coefficiente sismico k_h .

9.3 Modellazione e risultati delle analisi

Applicando ai valori caratteristici ricavati nel Capitolo 9.2 i coefficienti delle diverse combinazioni riportati in Tabella 9.1, si ottengono i valori di progetto delle azioni con cui sono state eseguite le verifiche strutturali. Il comportamento del suolo, come specificato al Capitolo 4, è stato modellato considerando un comportamento cedevole, secondo il modulo di rigidezza di Winkler riportato anch'esso in Tabella 6.1. Nei paragrafi che seguono vengono rappresentate le distribuzioni degli sforzi sulle diverse parti strutturali e nelle diverse combinazioni di carico; nelle didascalie vengono indicati il caso più critico osservato e i valori massimi di progetto per ogni combinazione (SLU Fondamentale, SLE Caratteristica – Rara, SLE Frequenti, SLE Quasi Permanenti, Sismica) i quali saranno considerati al Capitolo 9.4 per le verifiche e i dimensionamenti. Cautelativamente, l'azione assiale è stata trascurata nelle verifiche a flessione degli elementi strutturali compressi.

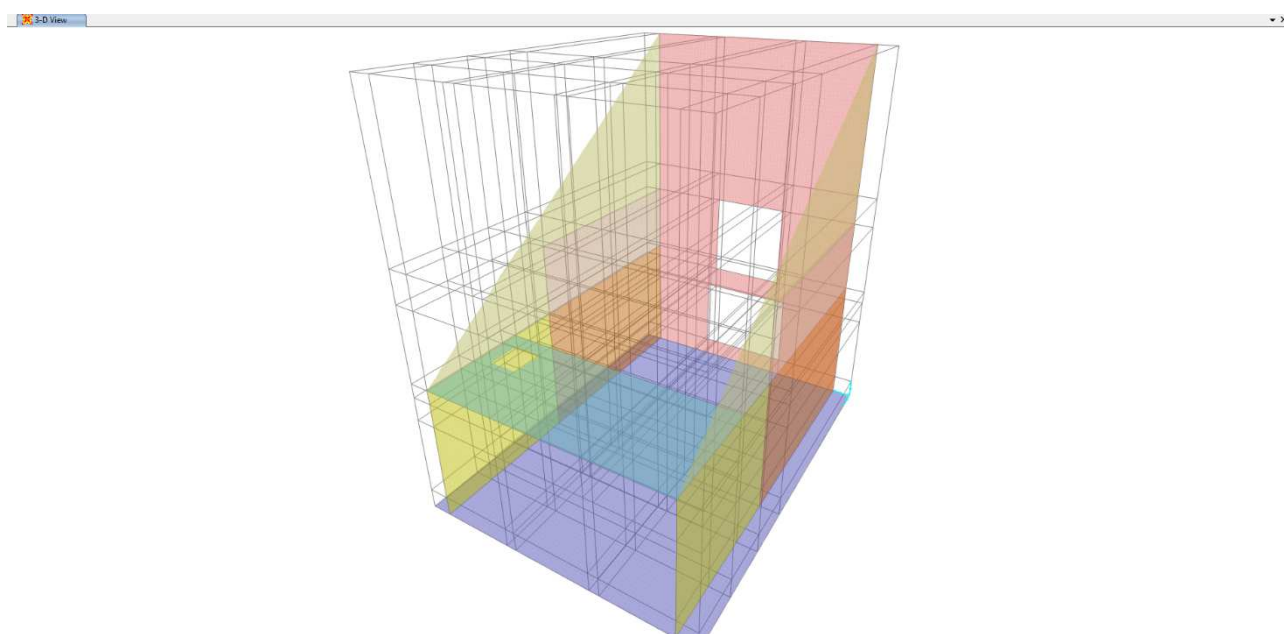


Figura 9.2 Modellazione canale di sbocco – tratto scoperto (Blocco 4)

I muri laterali del manufatto, uguali tra di loro, sono stati modellati dividendoli in aree (PARETE 1, PARETE 2, PARETE 3, PARETE 4), per le quali sono stati assunti spessori costanti, secondo lo schema riportato in Figura 9.3. Il muro che delimita nell'altra direzione il manufatto è di seguito indicato come "PARETE SUD". Gli spessori considerati per ogni elemento sono riportati nelle Verifiche riportate al Capitolo 9.4.2.

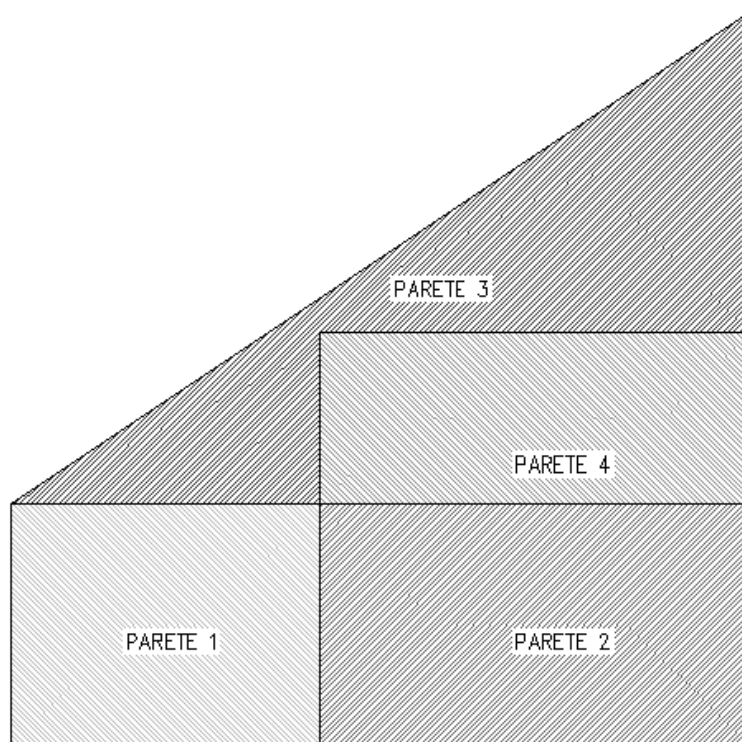


Figura 9.3 Modellazione manufatto di sbocco (tratto scoperto) - Schematizzazione

9.3.1 Platea di fondazione

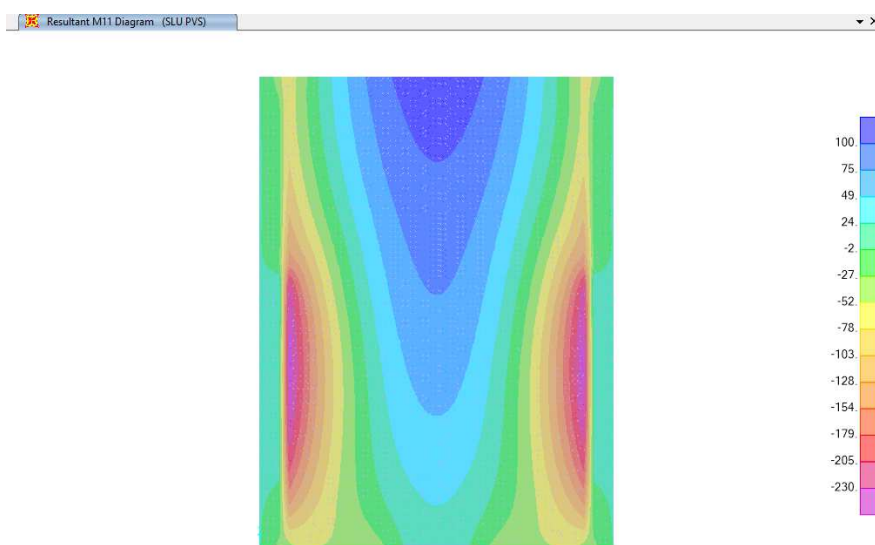


Figura 9.4 SLU FOND.2: M11, max= -240.39 kNm/m

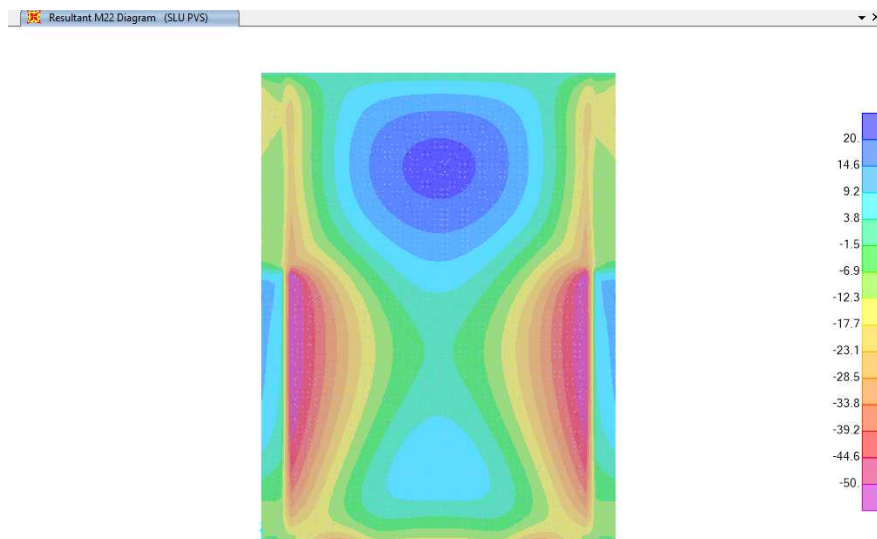


Figura 9.5 SLU FOND.2: M22, max= 77.64 kNm/m

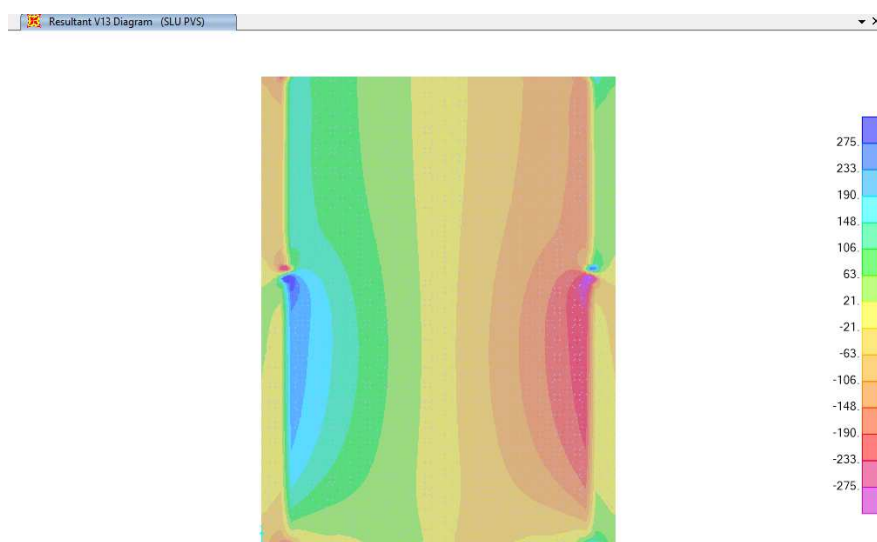


Figura 9.6 SLU FOND.2: V13, max= 266.24 kN/m

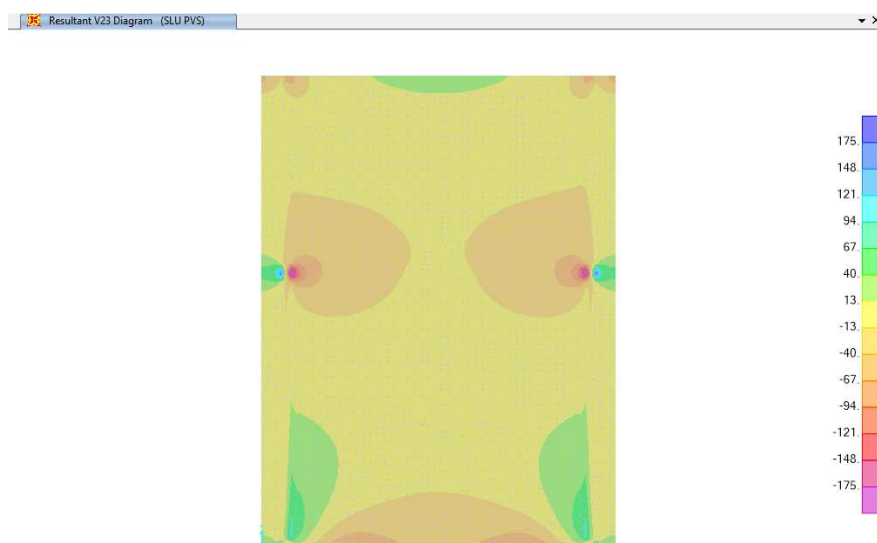


Figura 9.7 SLU. FOND2: V23, max= -220.19 kN/m

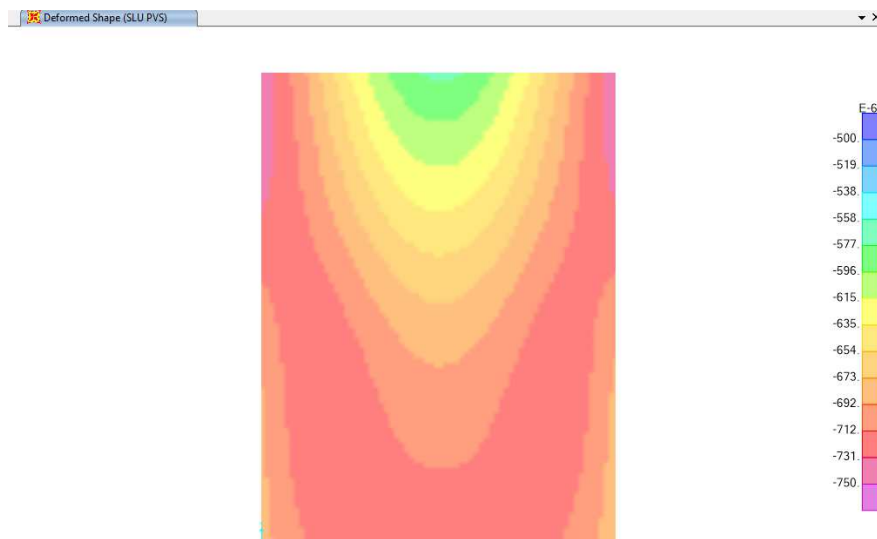


Figura 9.8 SLU. FOND2: U_z : max= -700E-6 m

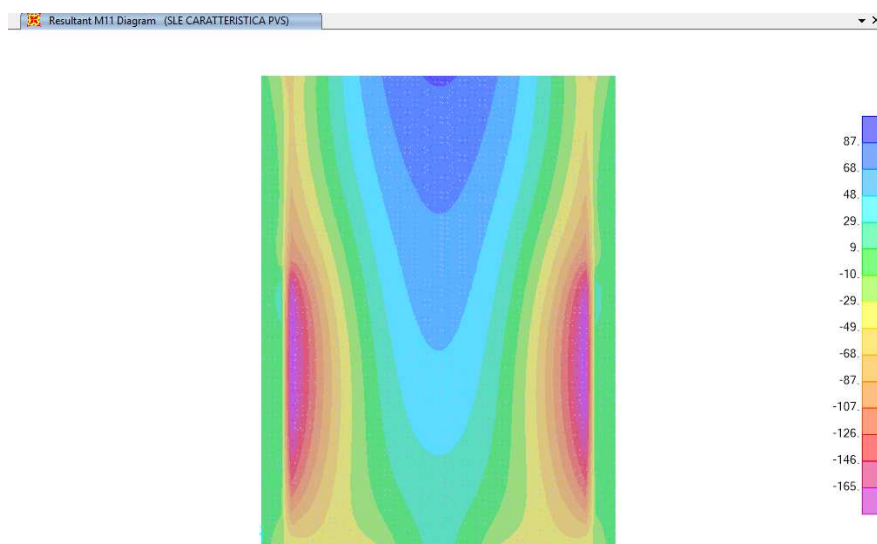


Figura 9.9 R2: M11, max= 184.57 kNm/m

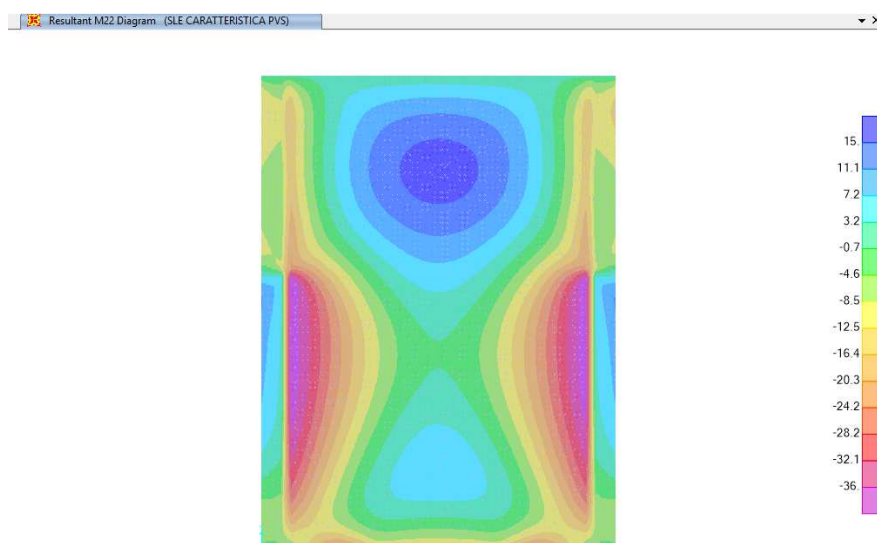


Figura 9.10 R2: M22, max= -59.58 kNm/m

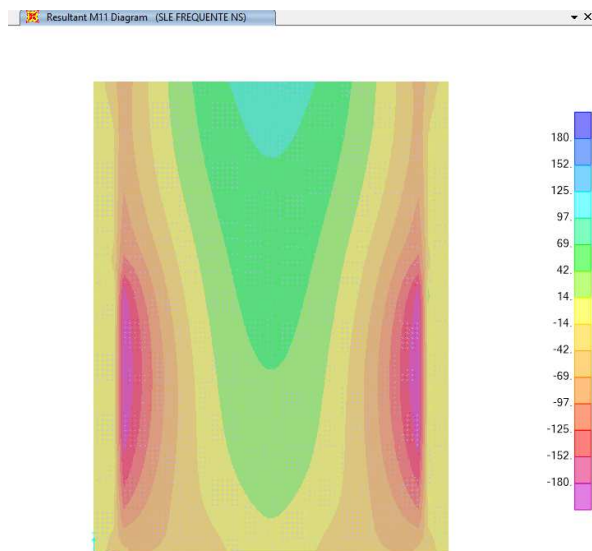


Figura 9.11 F2: M11, max= -182.55 kNm/m

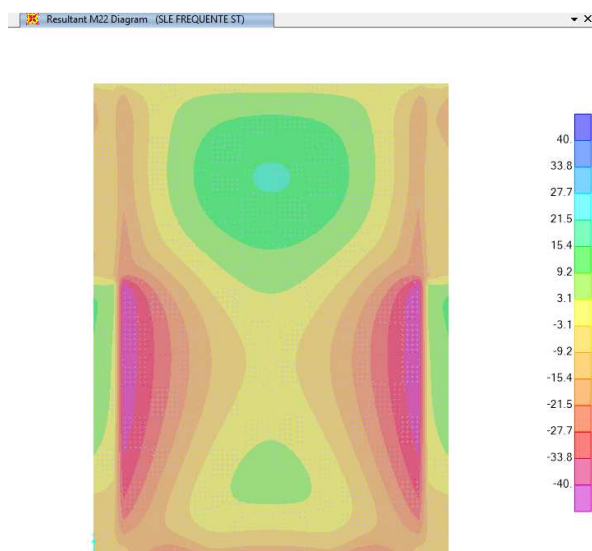


Figura 9.12 F2: M22, max= -40.02 kNm/m

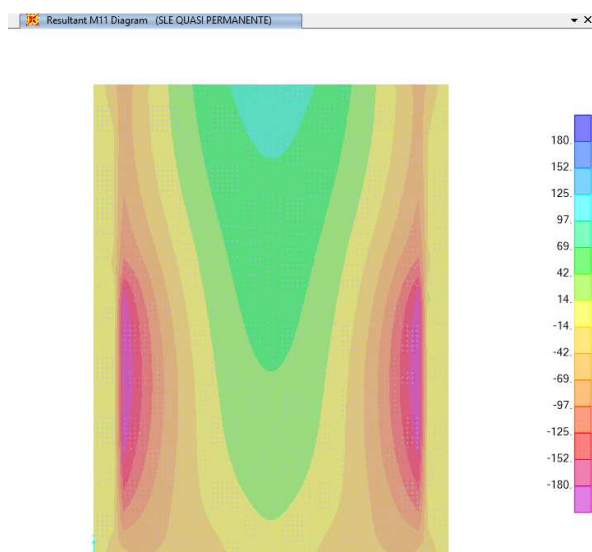


Figura 9.13 QP: M11, max= -182.47 kNm/m

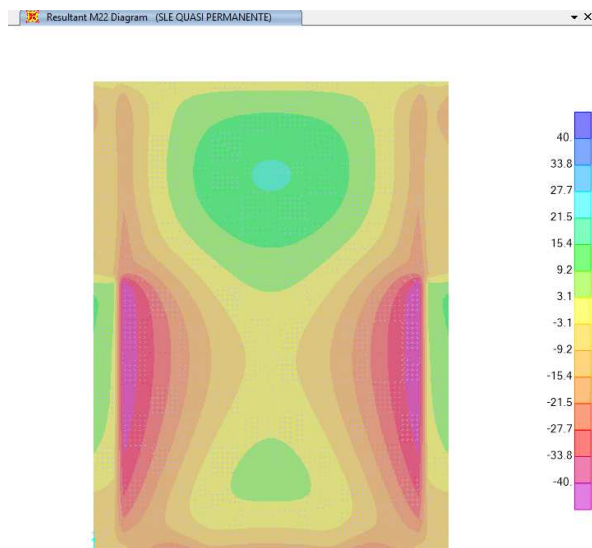


Figura 9.14 QP: M22, max= -30.98 kNm/m

9.3.2 Pareti

9.3.2.1 PARETE 1

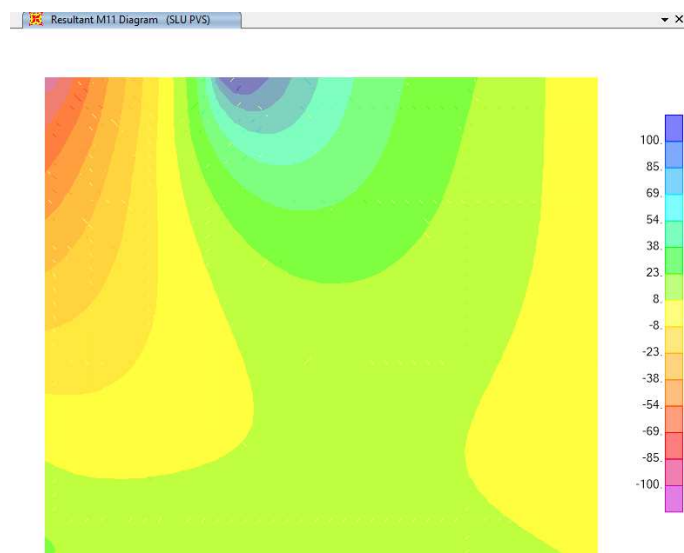


Figura 9.15 SLU FOND.2: M11, max= -121.28 kNm/m

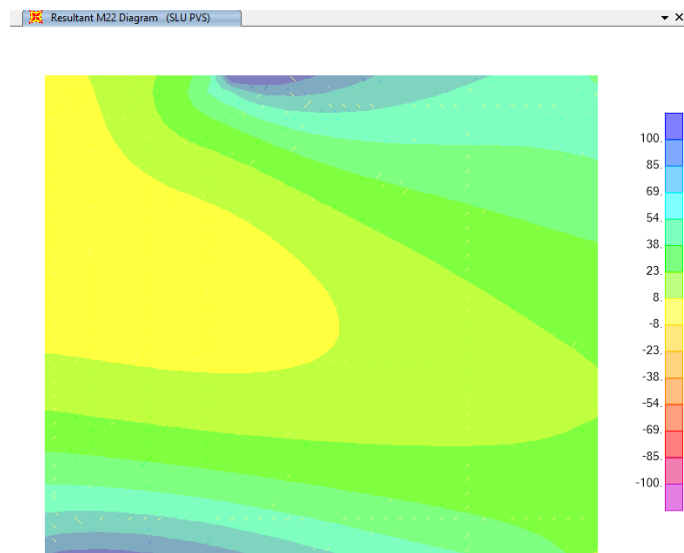


Figura 9.16 SLU FOND.2: M22, max= 125.95 kNm/m

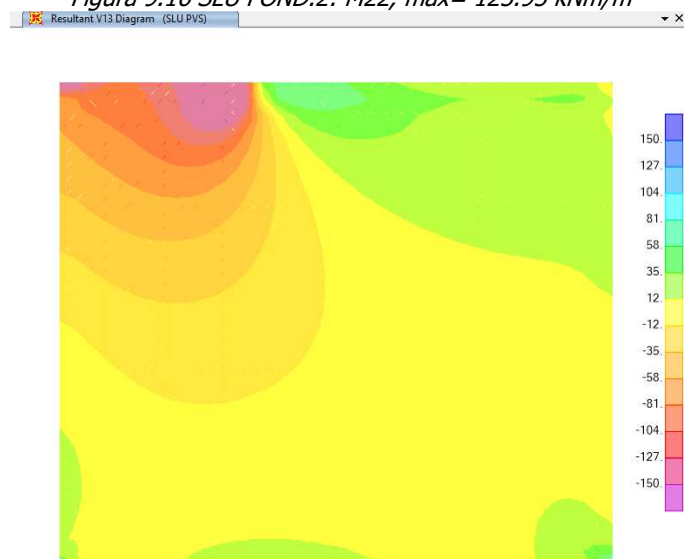


Figura 9.17 SLU FOND.2: V13, max= -227.34 kN/m

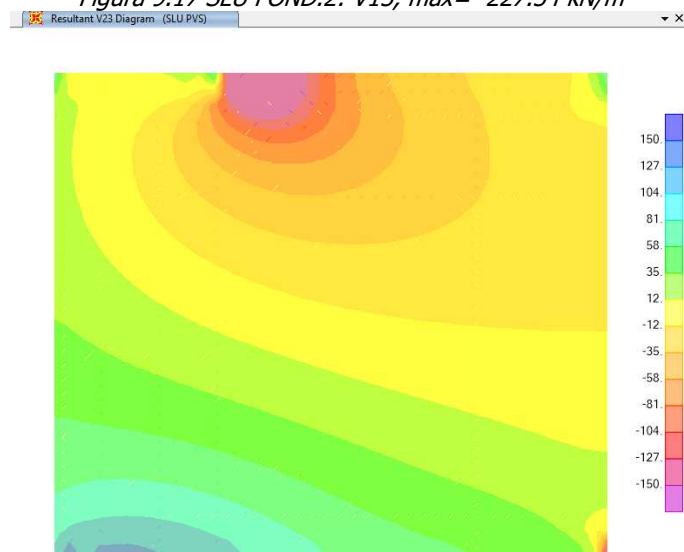


Figura 9.18 SLU. FOND2: V23, max= -213.68 kN/m

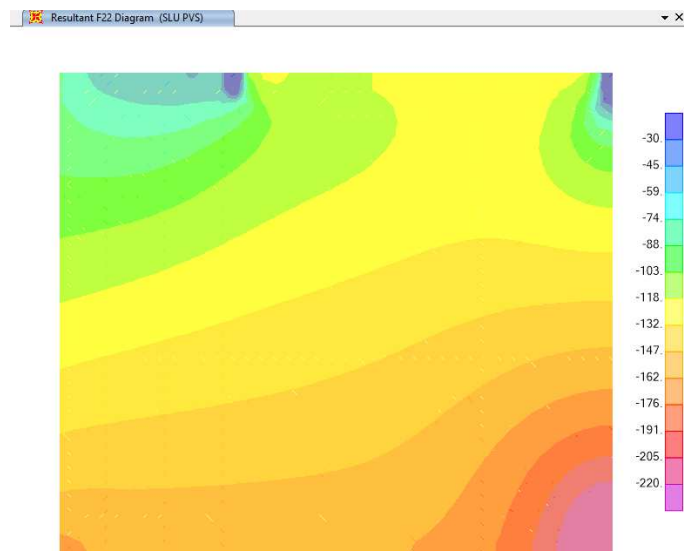


Figura 9.19 SLU. FOND2: F22: max= -218.46 kN/m

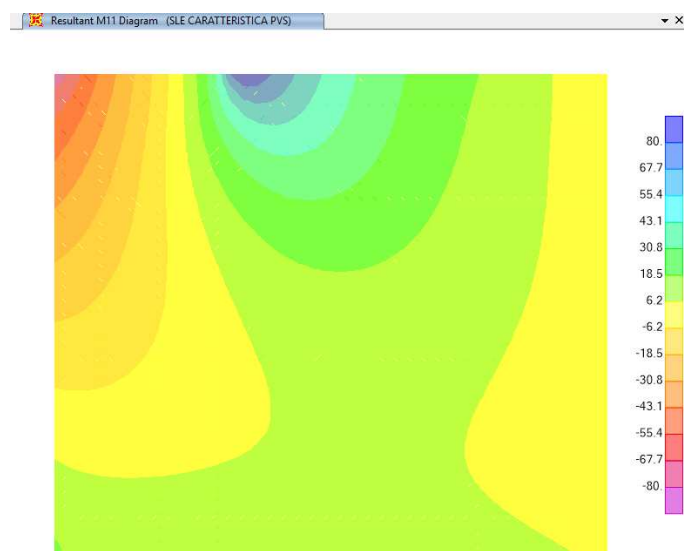


Figura 9.20 R2: M11, max= -93.76 kNm/m

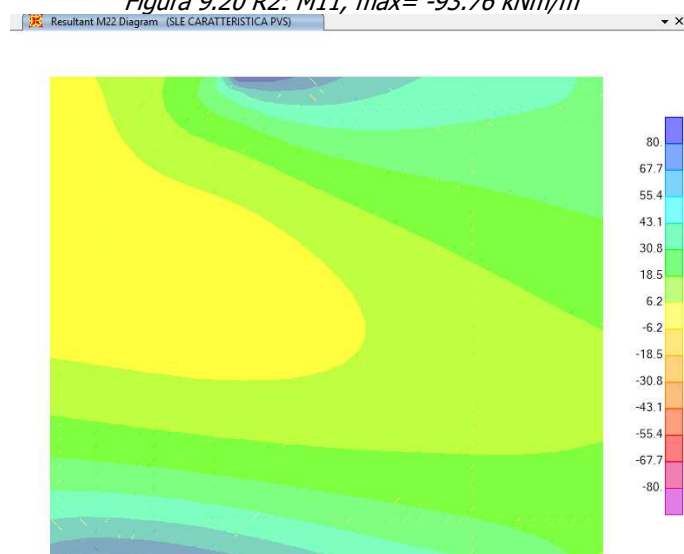


Figura 9.21 R2: M22, max= 53.54 kNm/m

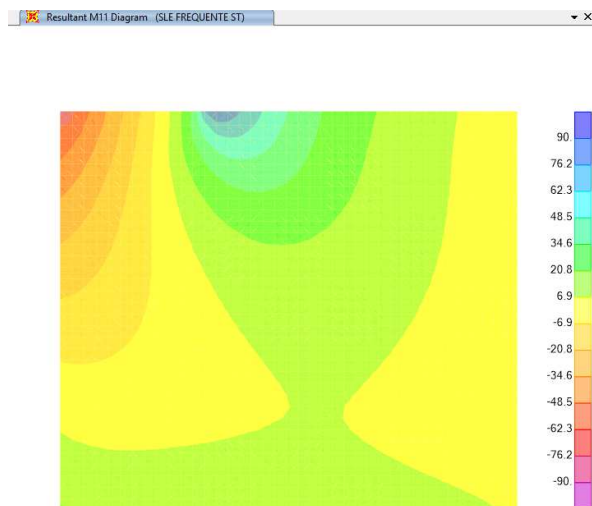


Figura 9.22 F1: M11, max= -94.51 kNm/m

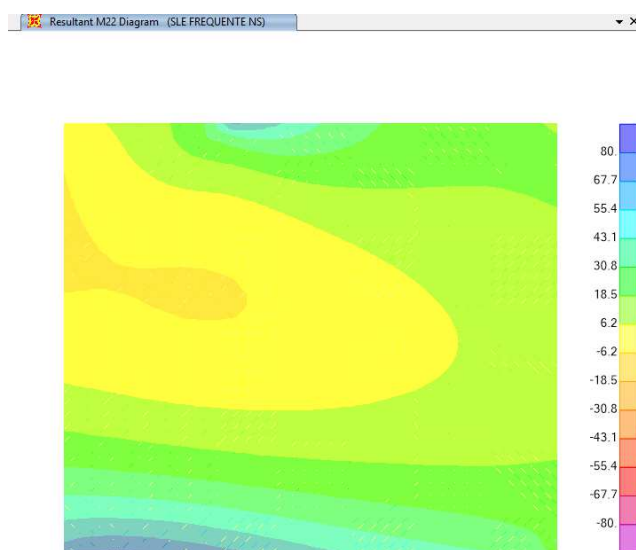


Figura 9.23 F2: M22, max= 82.64 kNm/m

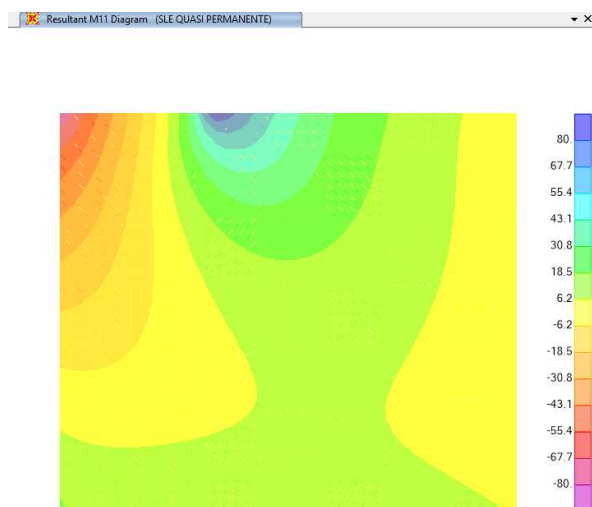


Figura 9.24 QP: M11, max= -92.79 kNm/m

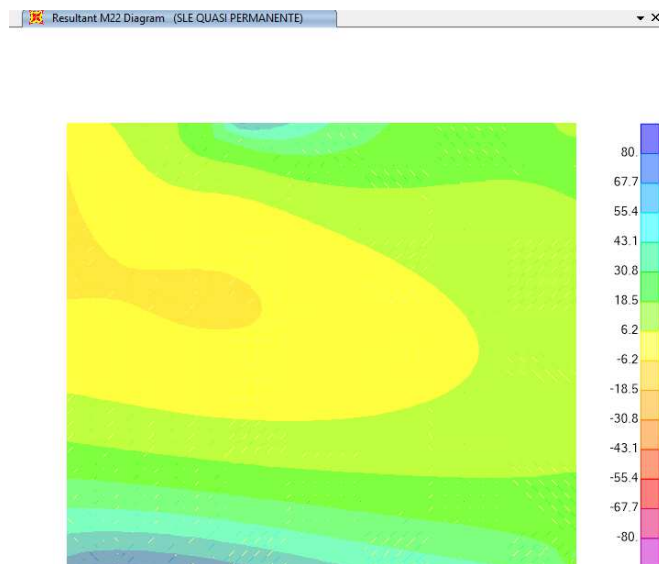


Figura 9.25 QP: M22, max= 82.60 kNm/m

9.3.2.2 PARETE 2

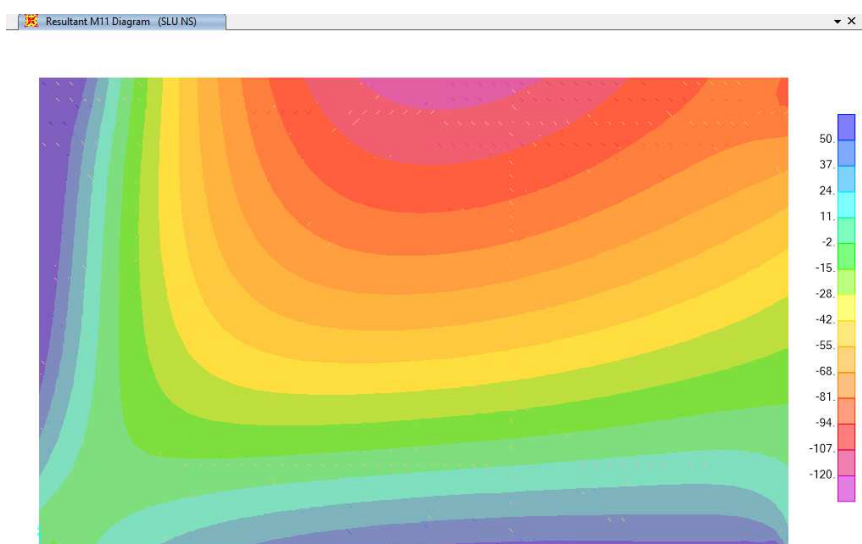


Figura 9.26 SLU FOND.3: M11, max= -126.83 kNm/m

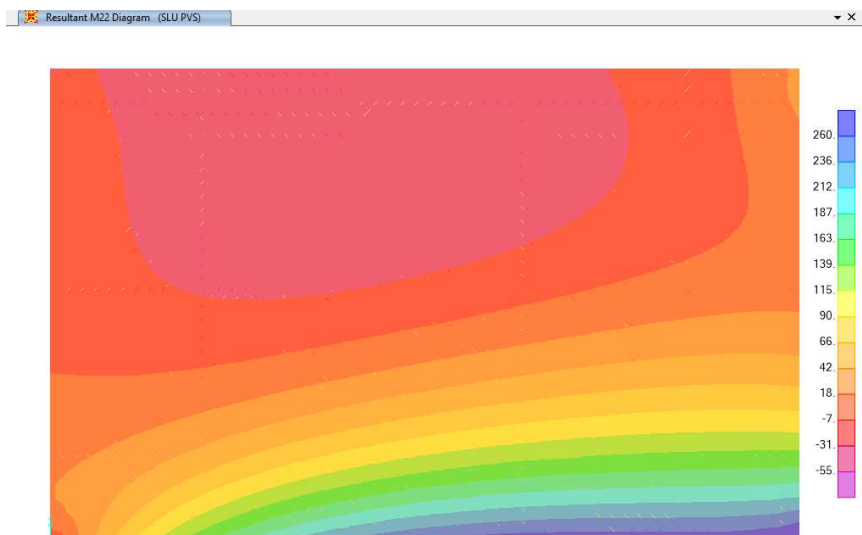


Figura 9.27 SLU FOND.2: M22, max= 160.31 kNm/m

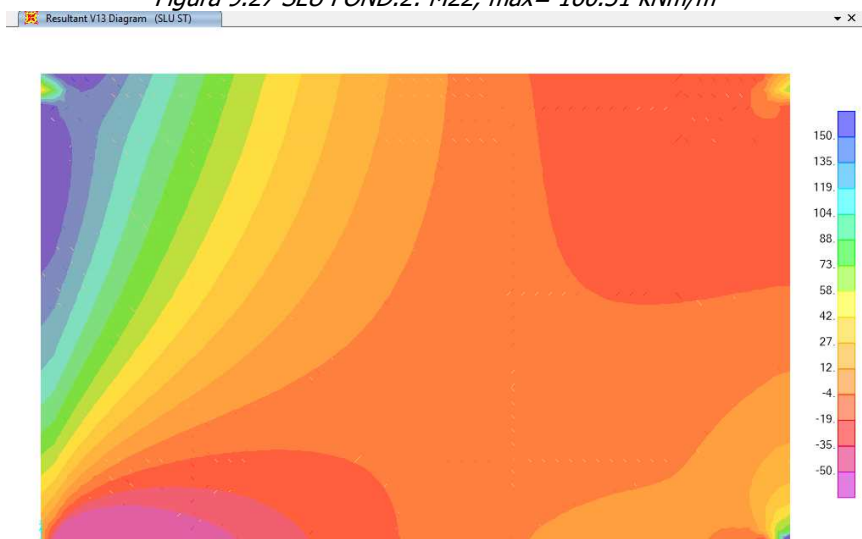


Figura 9.28 SLU FOND.1: V13, max= 150.81 kN/m

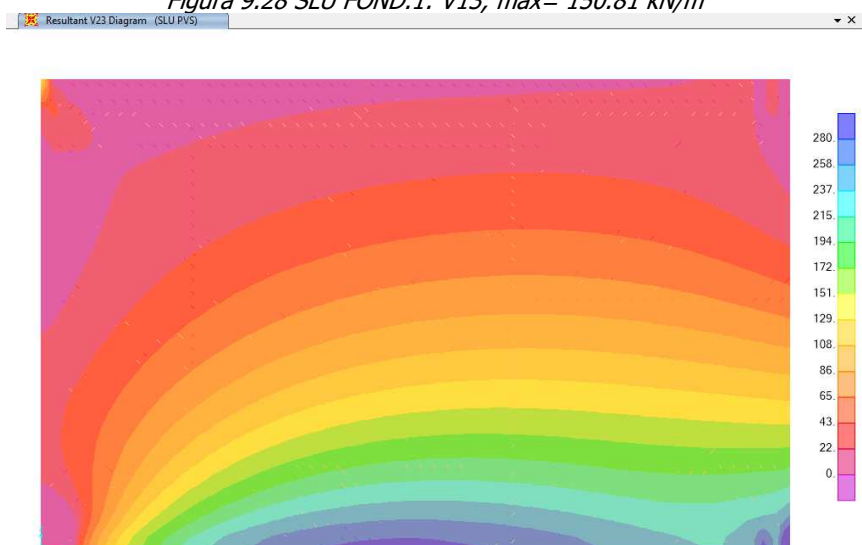
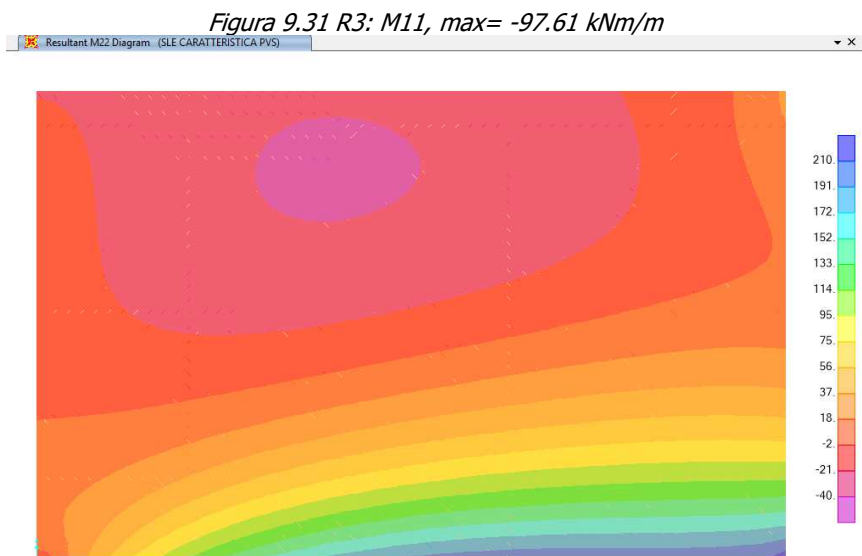
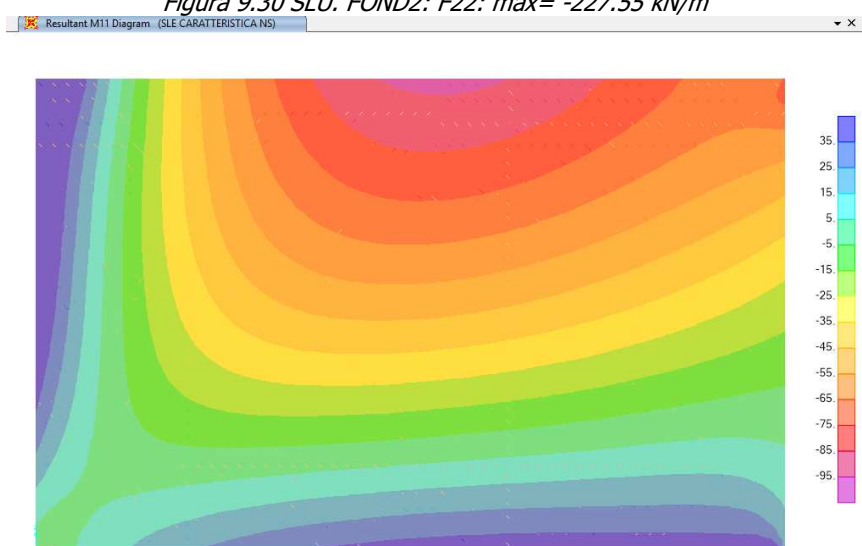
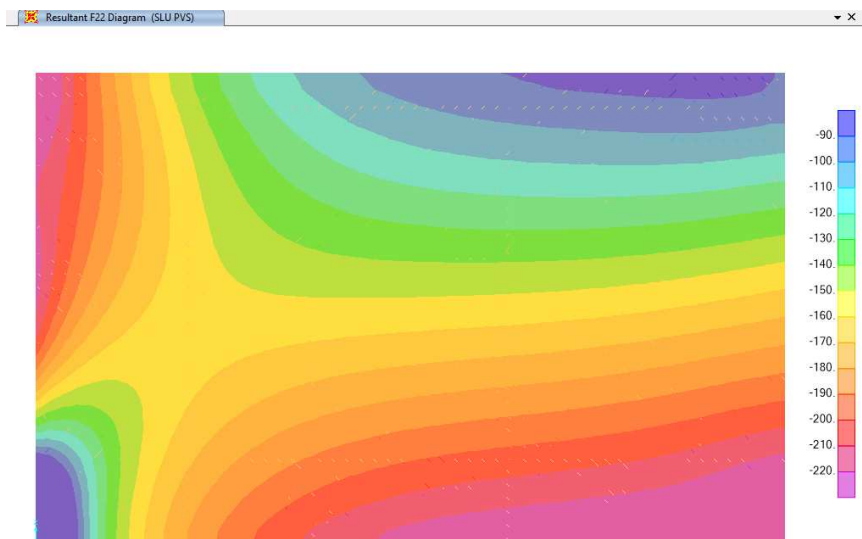


Figura 9.29 SLU. FOND2: V23, max= 218.95 kN/m



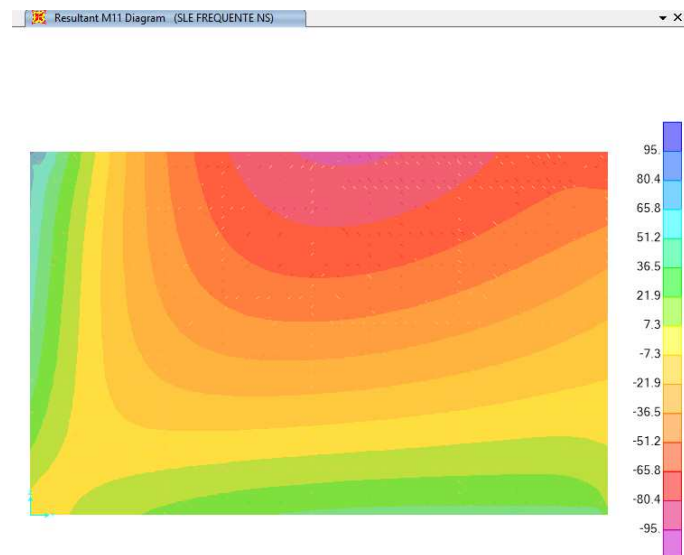


Figura 9.33 F2: M11, max= -97.57 kNm/m

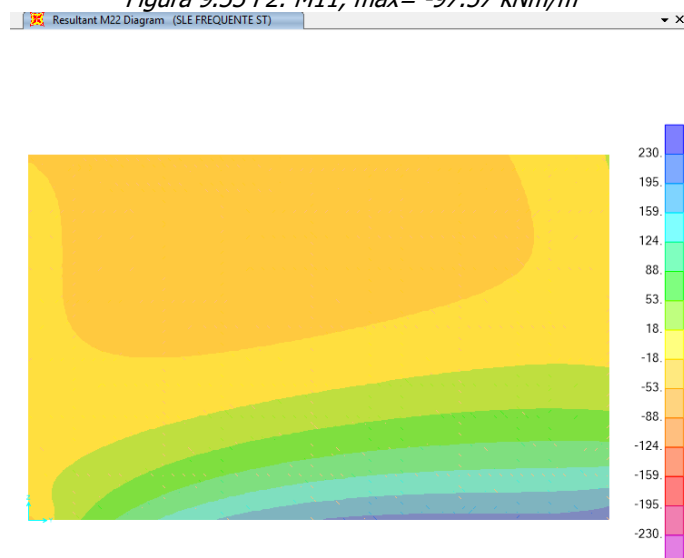


Figura 9.34 F1: M22, max= 228.97 kNm/m

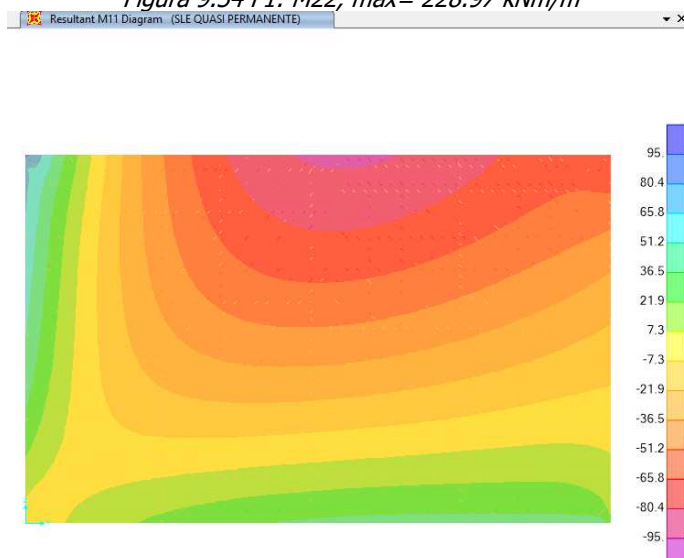


Figura 9.35 QP: M11, max= -97.52 kNm/m

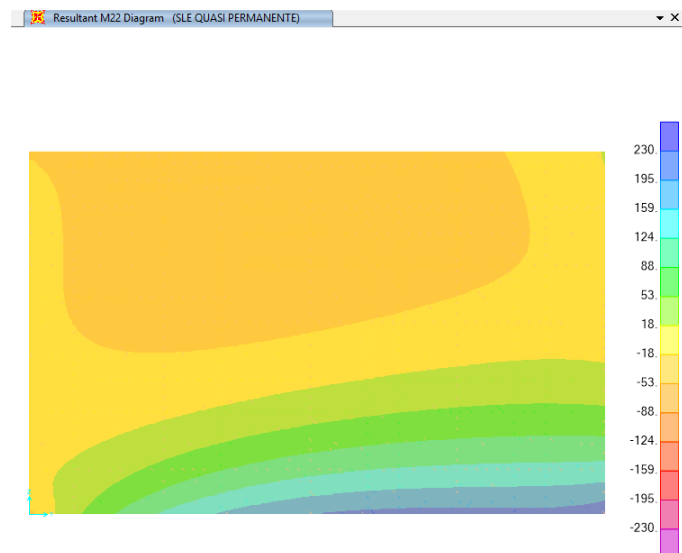


Figura 9.36 QP: M22, max= 228.95 kNm/m

9.3.2.3 PARETE 3

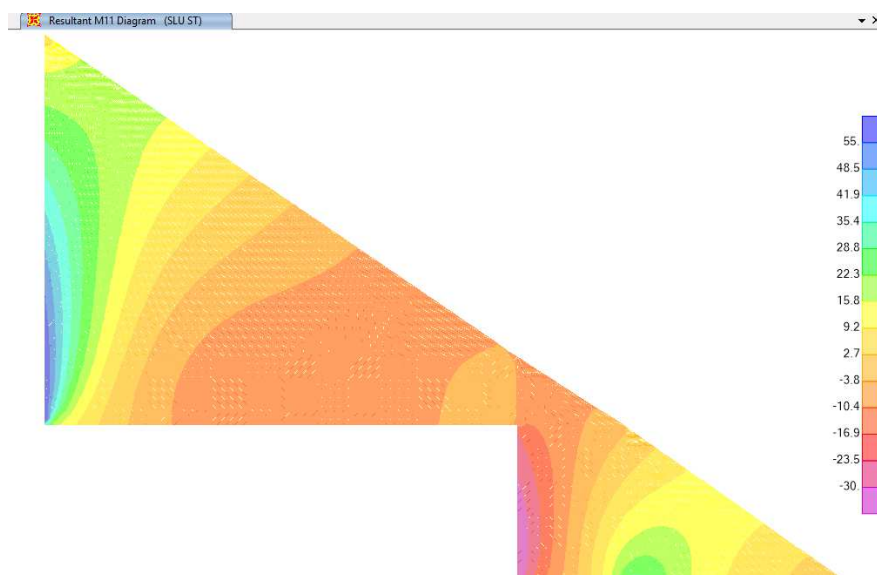


Figura 9.37 SLU FOND.1: M11, max= -37.87 kNm/m

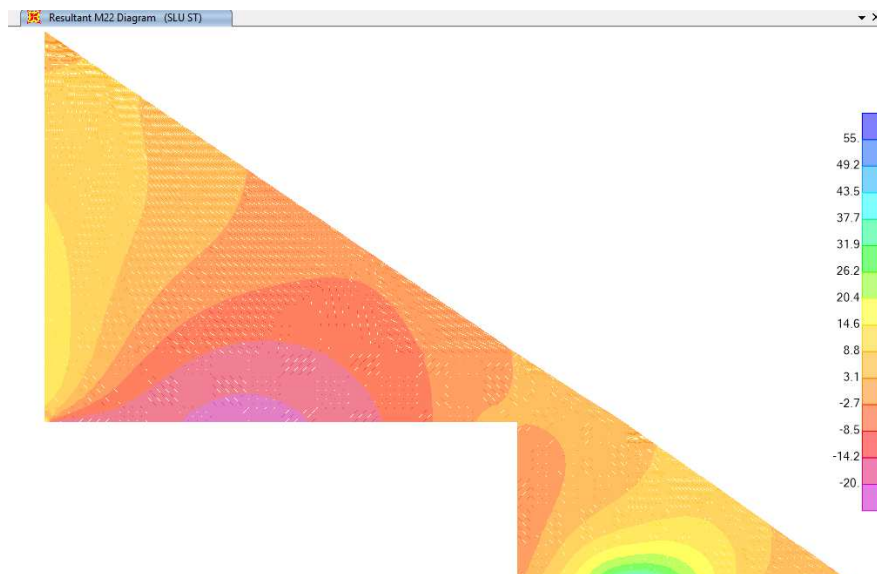


Figura 9.38 SLU FOND.1: M22, max= 58.97 kNm/m

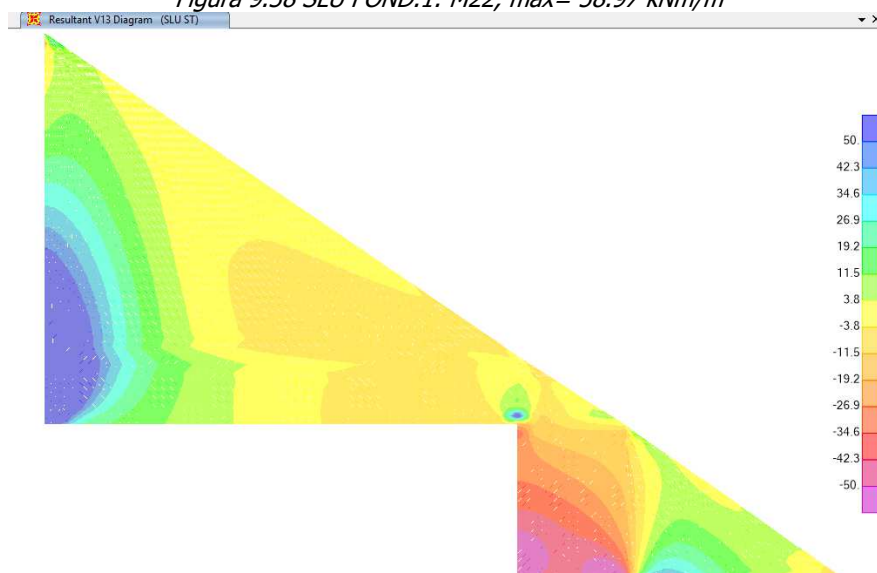


Figura 9.39 SLU FOND.1: V13, max= -124.57 kN/m

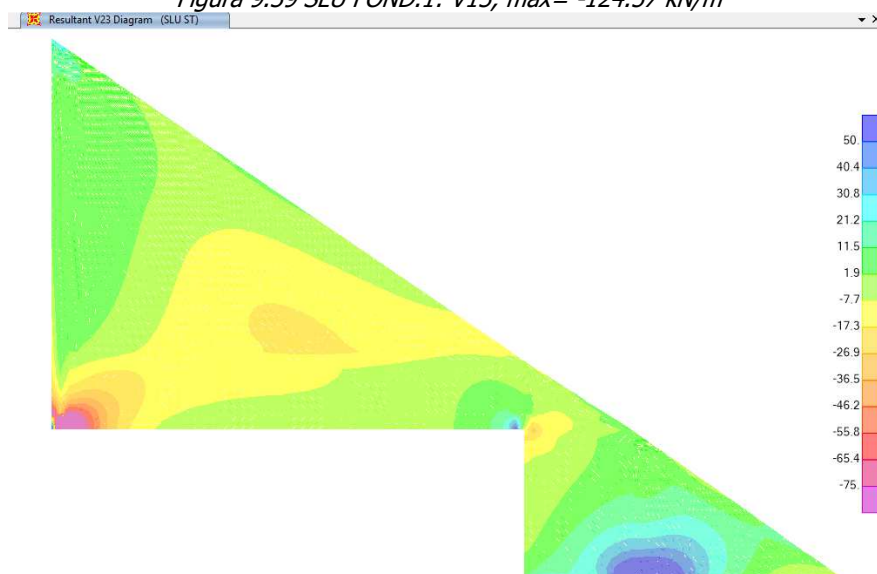


Figura 9.40 SLU. FOND1: V23, max= 105.14 kN/m

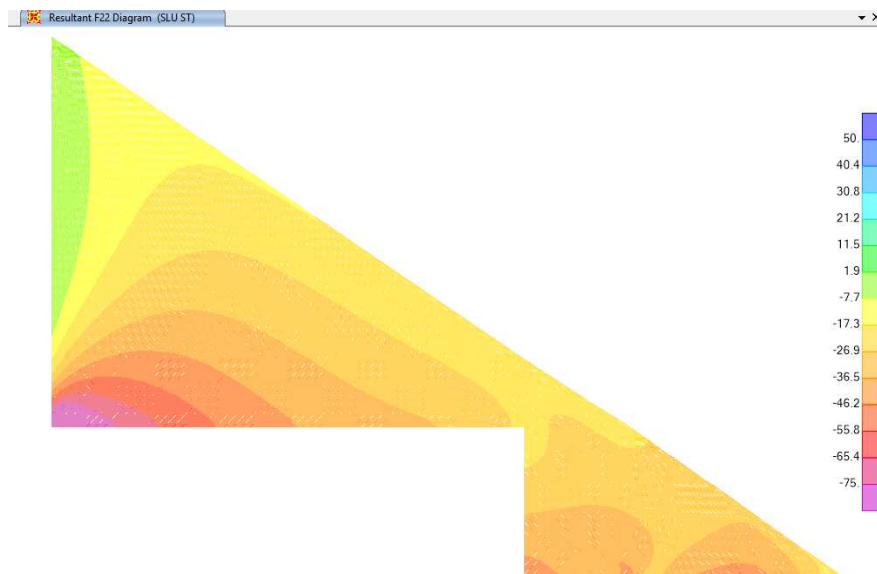


Figura 9.41 SLU. FOND1: F22: max= -128.96 kN/m

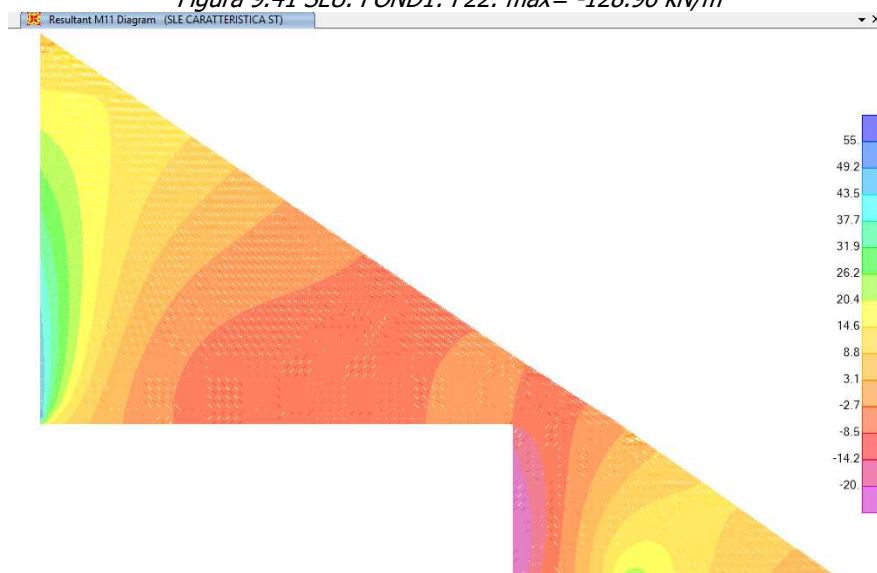


Figura 9.42 R1: M11, max= -29.13 kNm/m

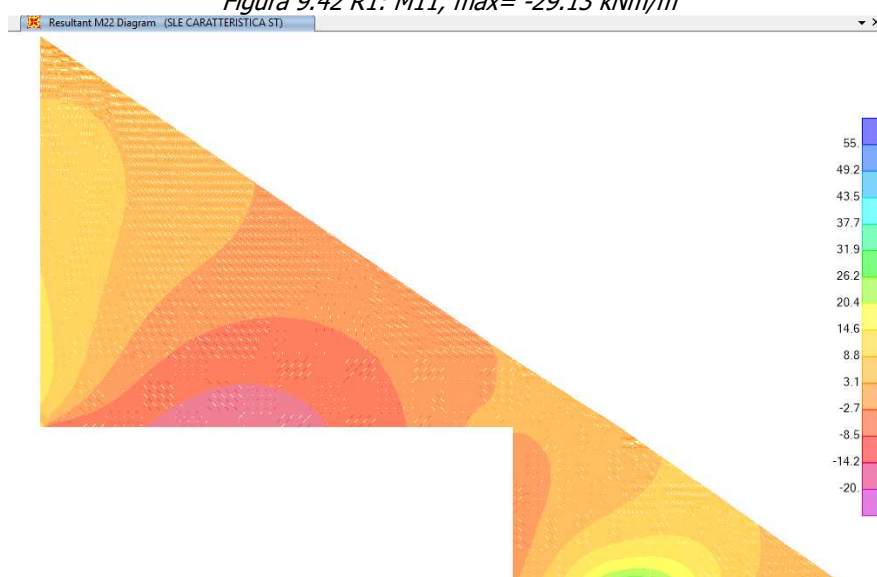


Figura 9.43 R1: M22, max= 45.44 kNm/m

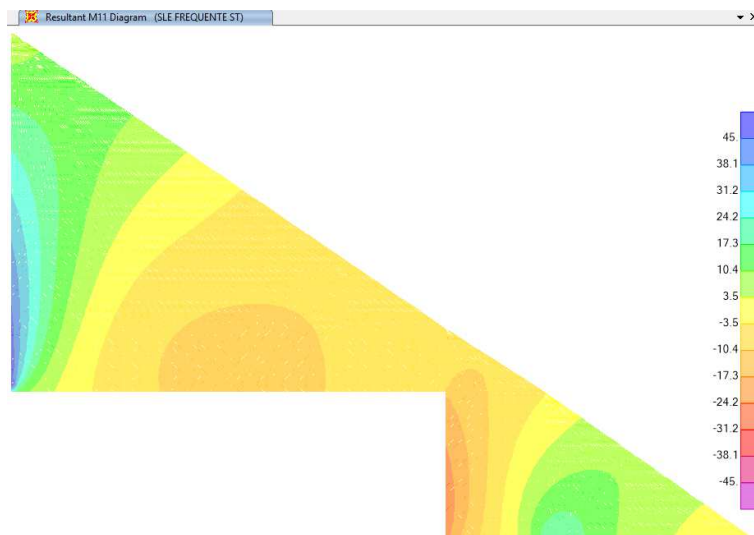


Figura 9.44 F1: M11, max= 56.36 kNm/m

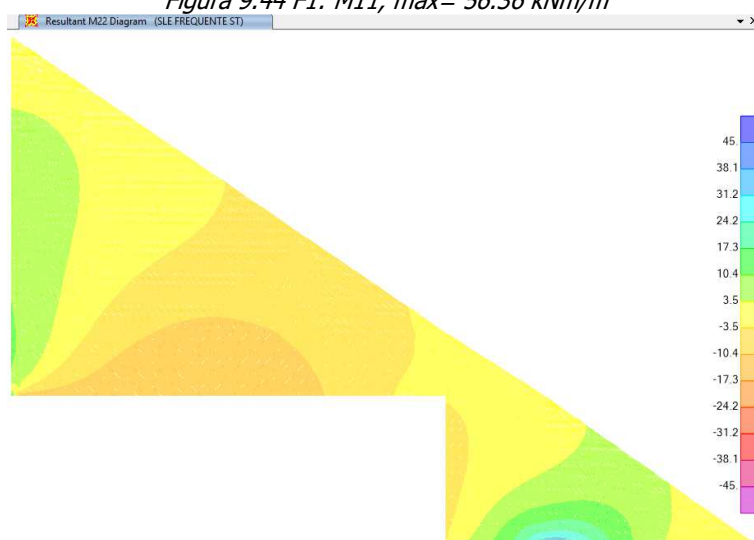


Figura 9.45 F1: M22, max= 45.42 kNm/m

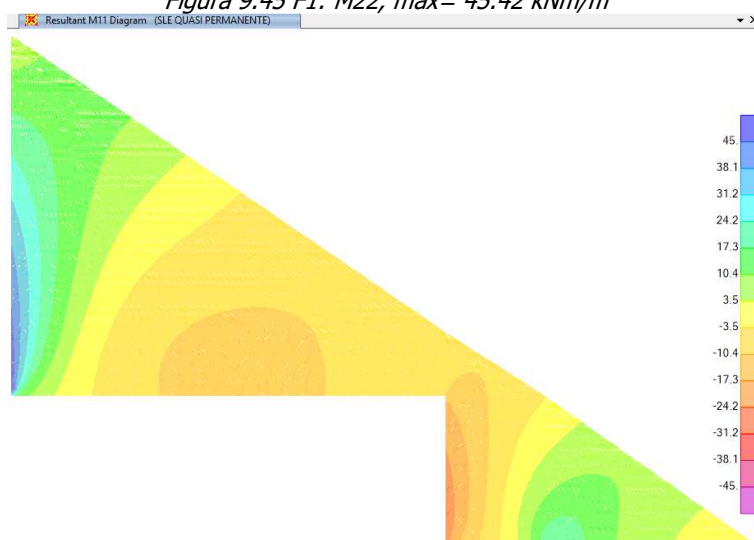


Figura 9.46 QP: M11, max= 56.31 kNm/m

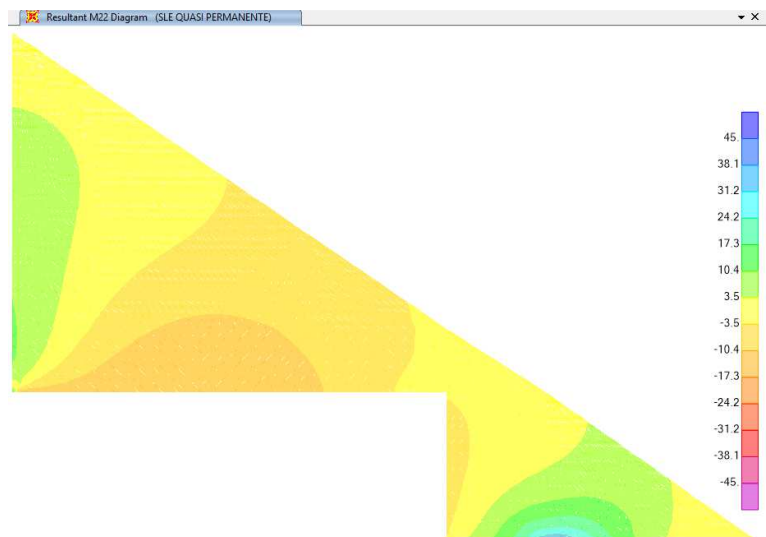


Figura 9.47 QP: M22, max= 45.39 kNm/m

9.3.2.4 PARETE 4

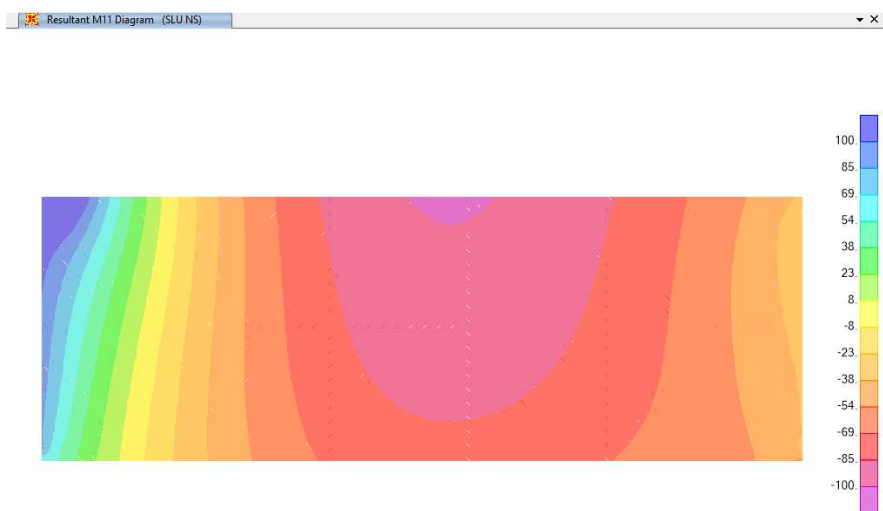


Figura 9.48 SLU FOND.3: M11, max= -101.44 kNm/m

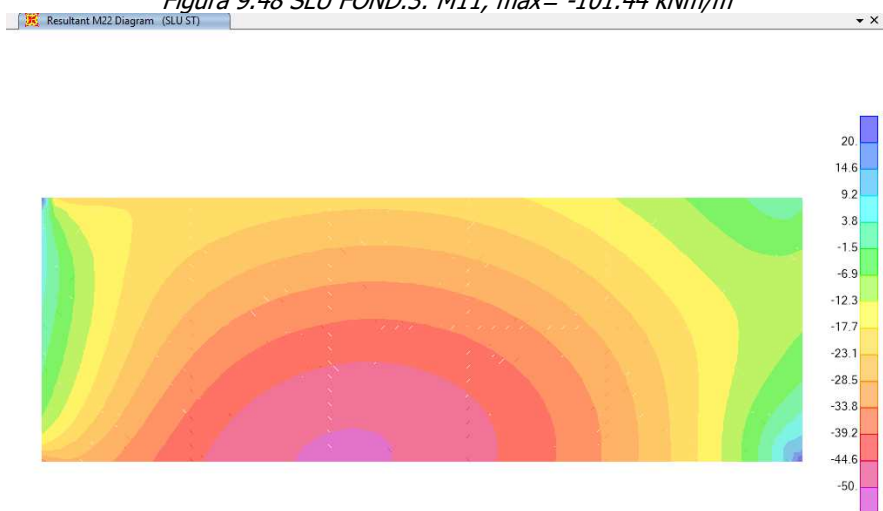


Figura 9.49 SLU FOND.1: M22, max= -50.66 kNm/m

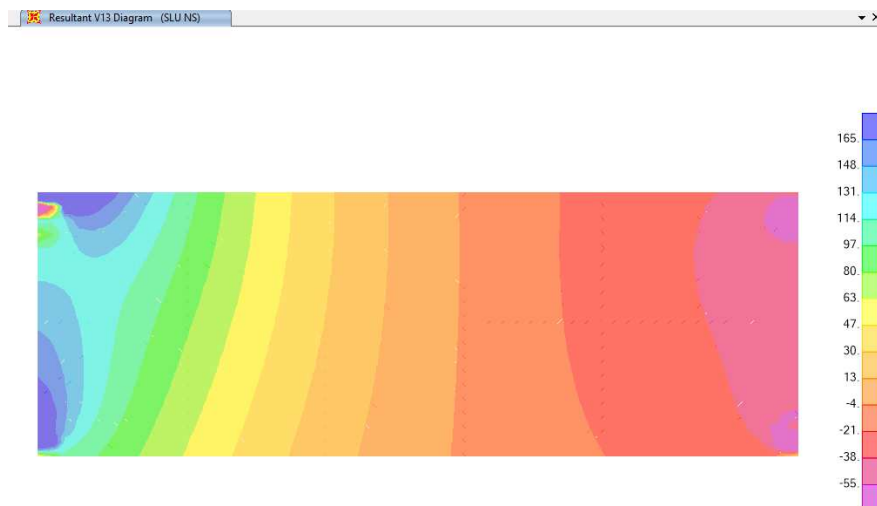


Figura 9.50 SLU FOND.3: V13, max= 235.52 kN/m

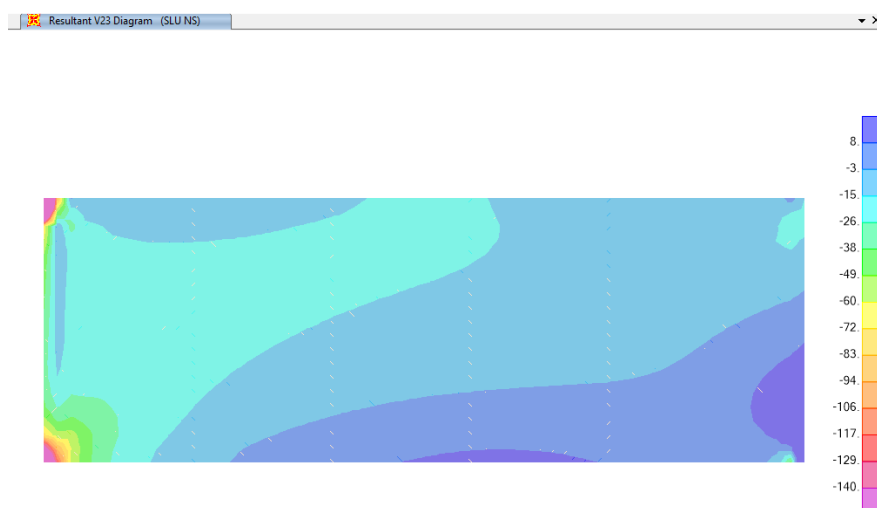


Figura 9.51 SLU. FOND3: V23, max= -41.78 kN/m

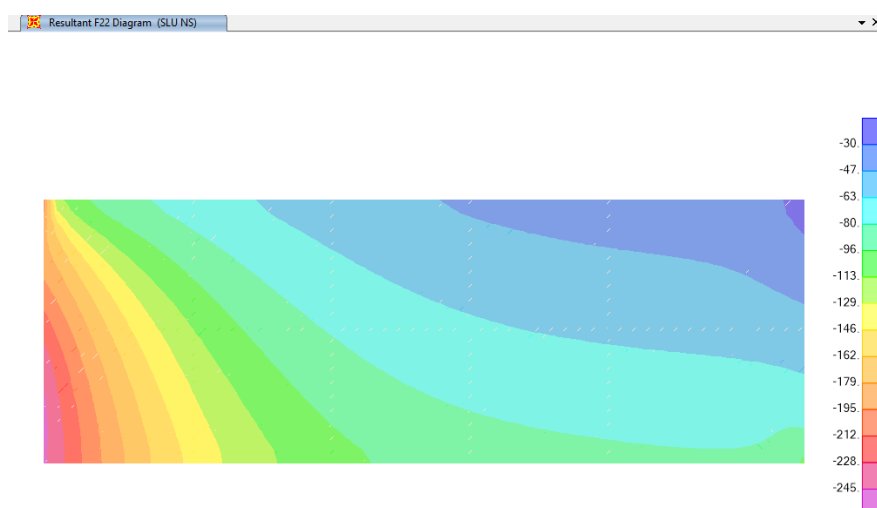


Figura 9.52 SLU. FOND3: F22: max= -248.72 kN/m

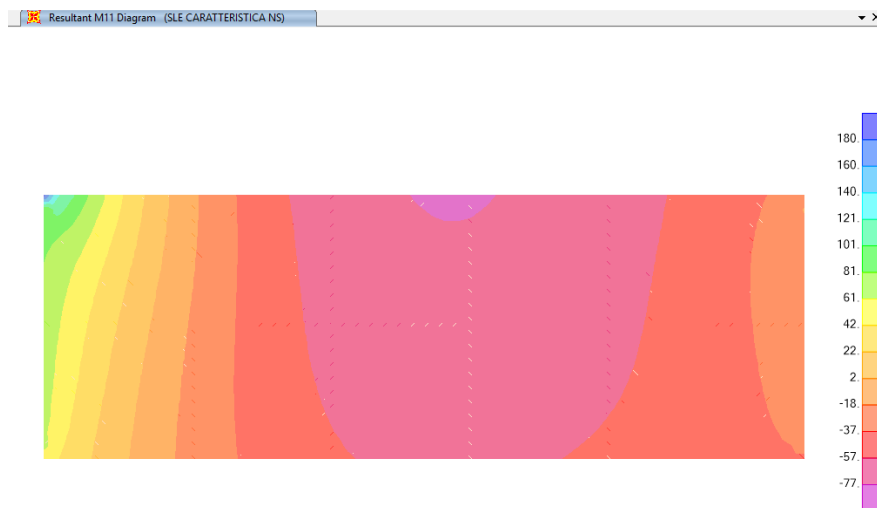


Figura 9.53 R3: M11, max= -78.10 kNm/m

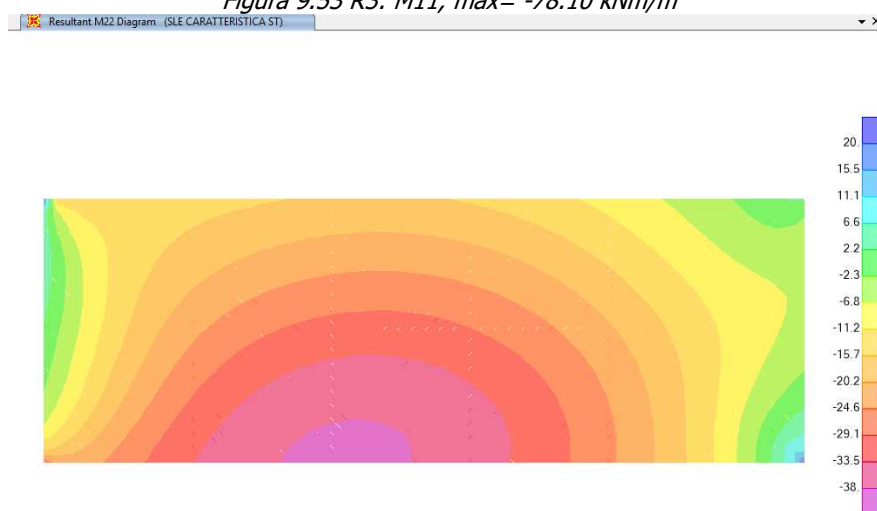


Figura 9.54 R1: M22, max= -38.90 kNm/m



Figura 9.55 F1: M11, max= -78.10 kNm/m



Figura 9.56 F1: M22, max= -38.70 kNm/m

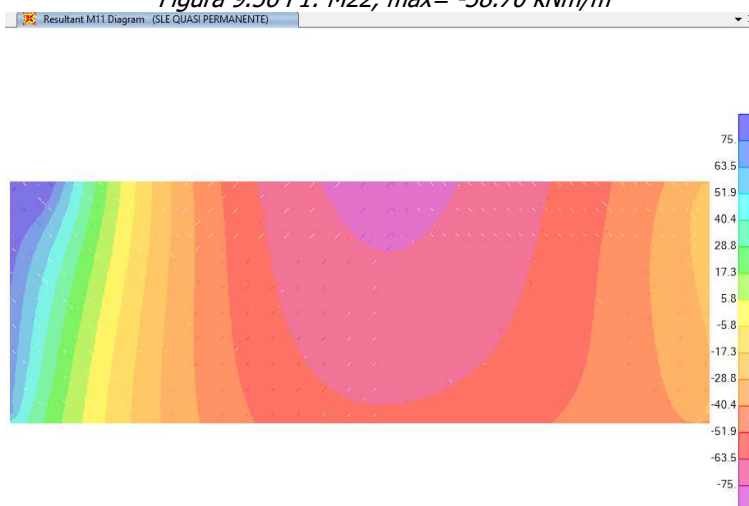


Figura 9.57 QP: M11, max= -77.97 kNm/m

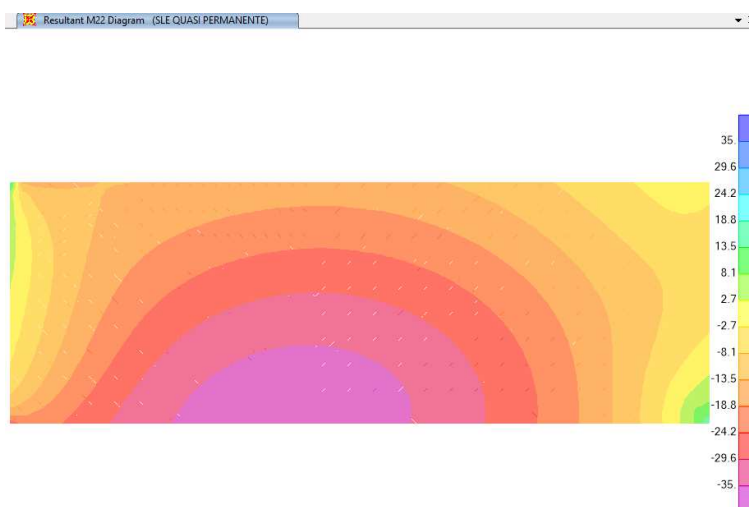


Figura 9.58 QP: M22, max= -38.60 kNm/m

9.3.2.5 PARETE SUD

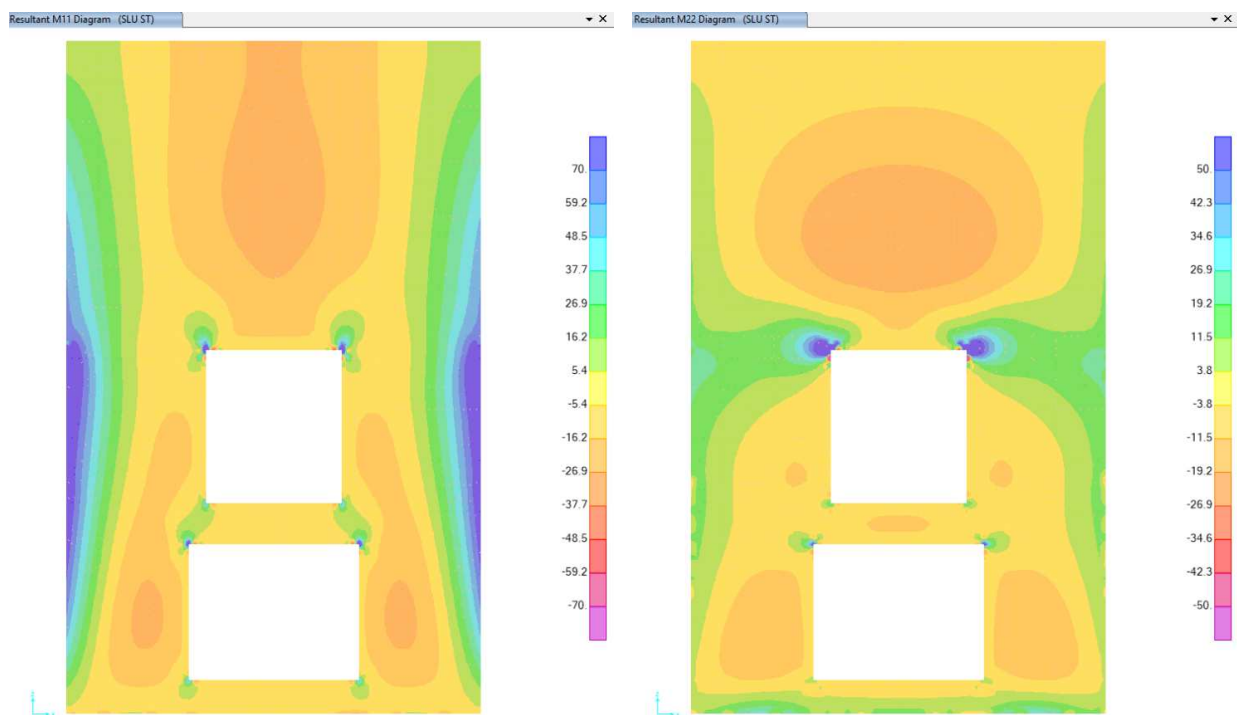


Figura 9.59 SLU FOND.1: M11, max= 144.81 kNm/m

Figura 9.60 SLU FOND.1: M22, max= 46.81 kNm/m

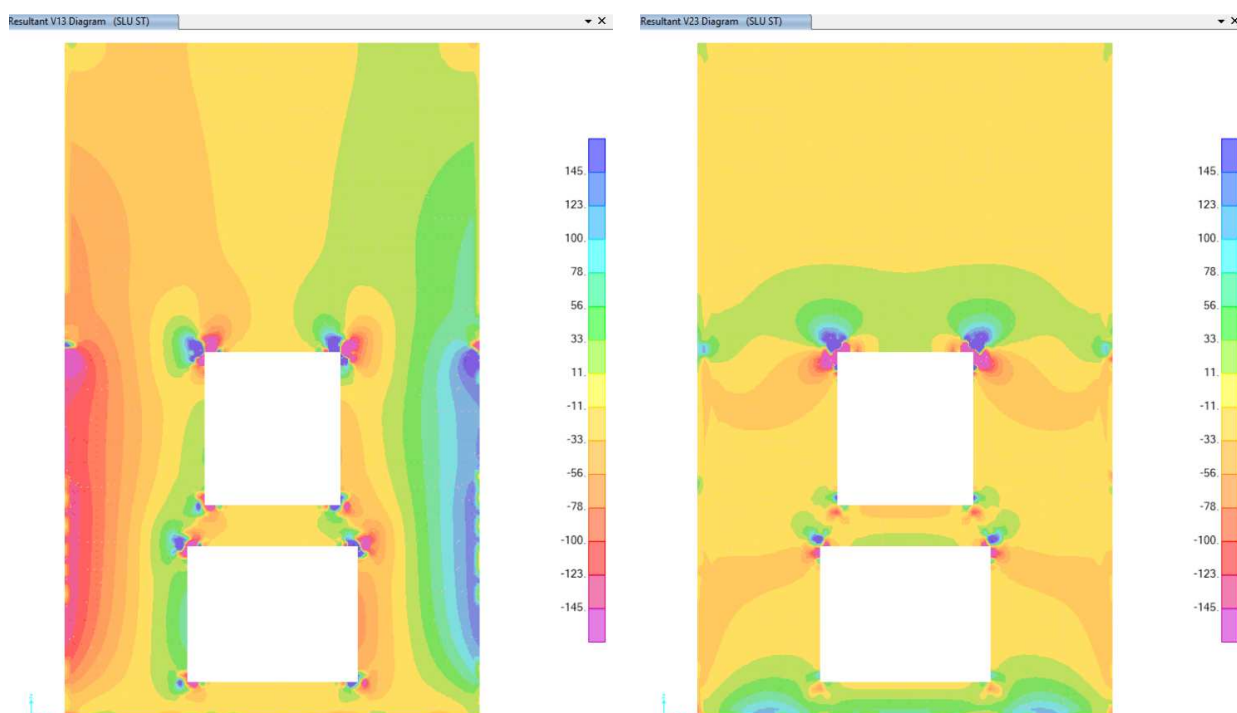


Figura 9.61 SLU FOND.1: V13, max= -118.08 kN/m

Figura 9.62 SLU. FOND1: V23, max= -130.40 kN/m

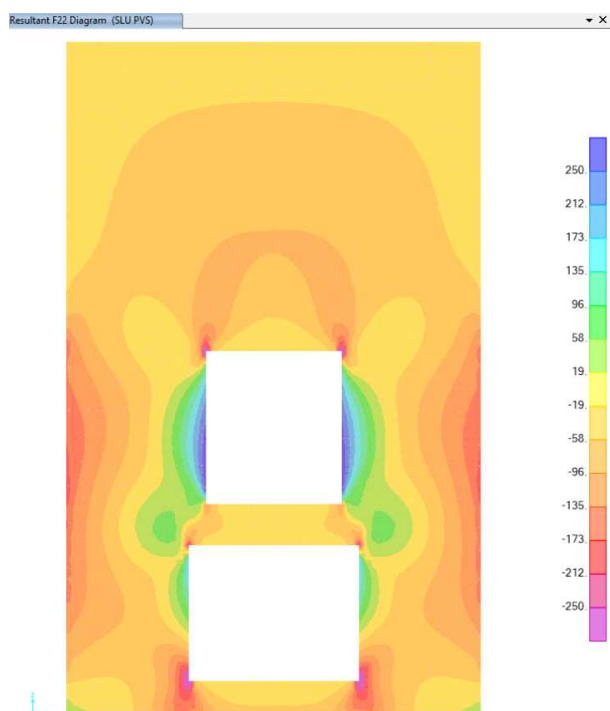


Figura 9.63 SLU. FOND2: F22: max= -444.23 kN/m

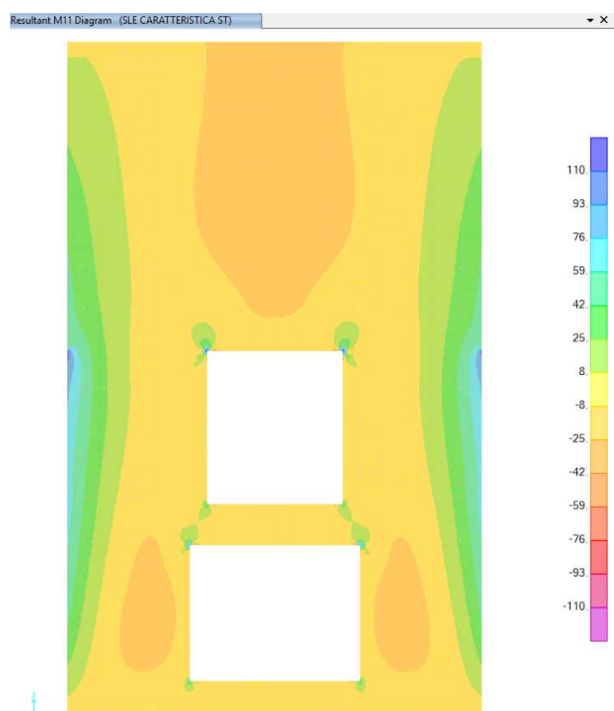


Figura 9.64 R1: M11, max= 106.21 kNm/m

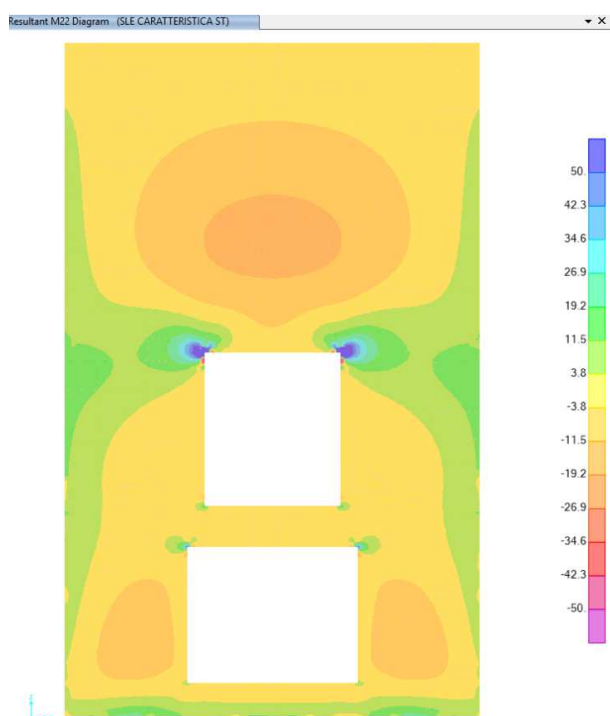


Figura 9.65 R1: M22, max= 29.37 kNm/m

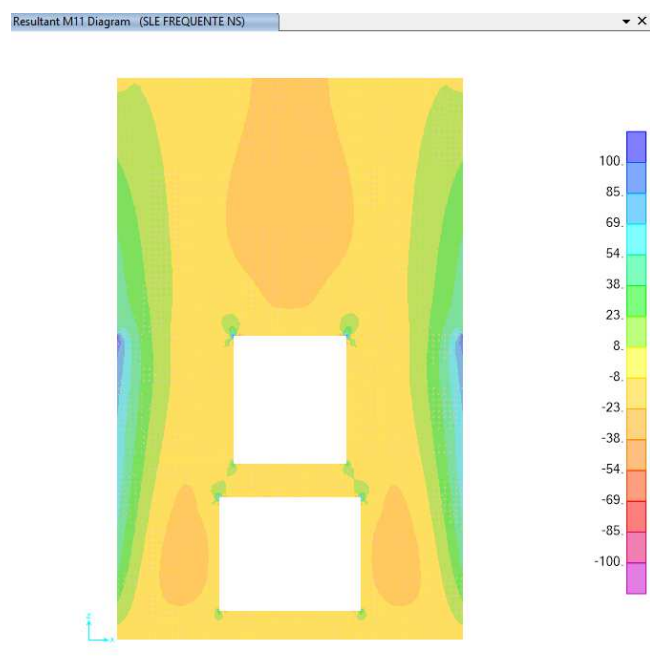


Figura 9.66 F3: M11, max= 106.21 kNm/m

Resultant M22 Diagram (SLE FREQUENTE NS)

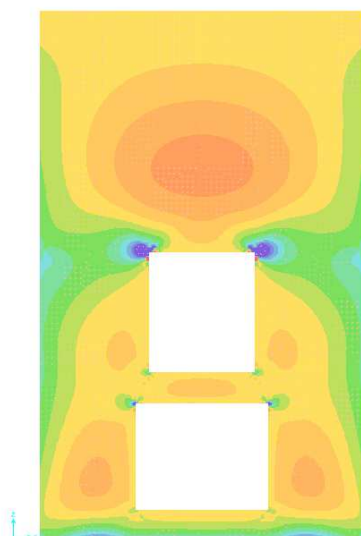


Figura 9.67 F3: M22, max= 24.57 kNm/m

Resultant M11 Diagram (SLE QUASI PERMANENTE)

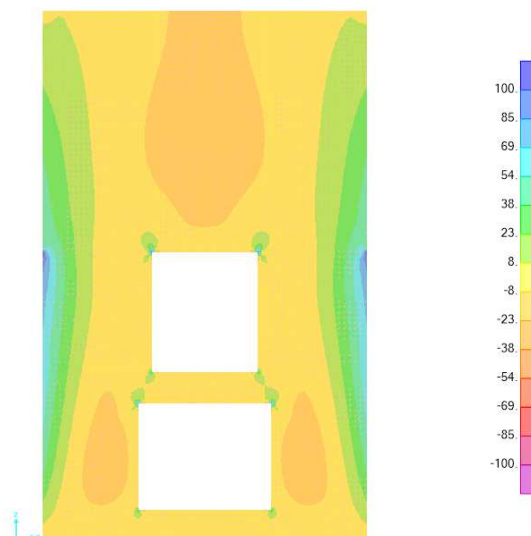


Figura 9.68 QP: M11, max= 106.08 kNm/m

Resultant M22 Diagram (SLE QUASI PERMANENTE)

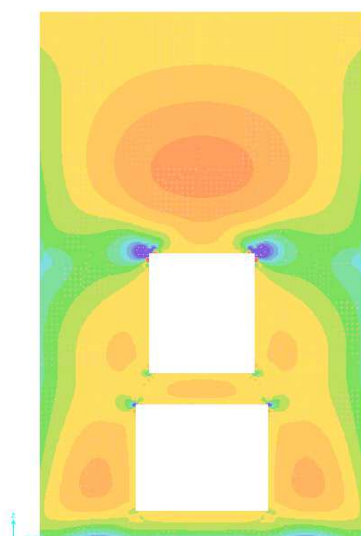


Figura 9.69 QP: M22, max= 24.55 kNm/m

9.3.3 Soletta a quota 51.70 m s.l.m.

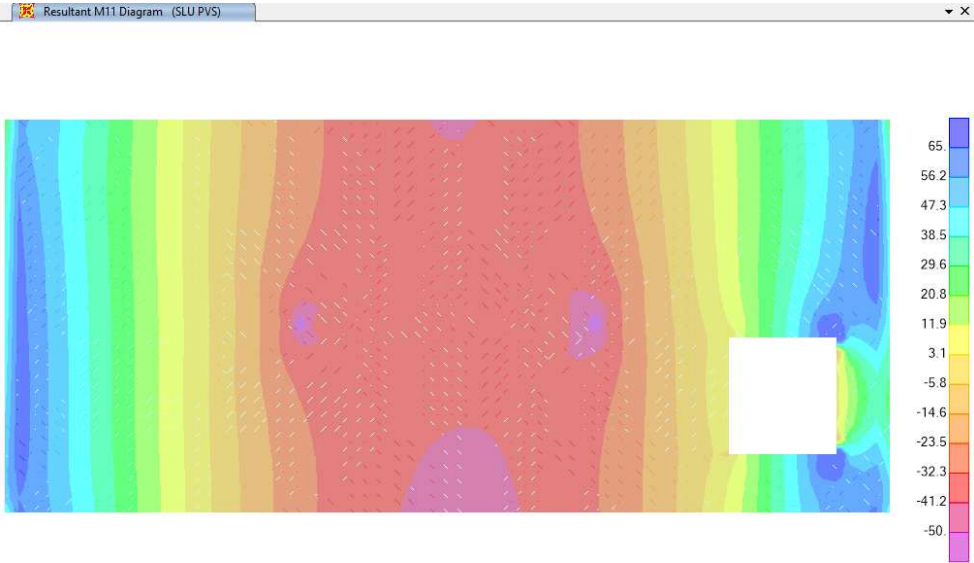


Figura 9.70 SLU FOND.2: M11, max= -59.74 kNm/m

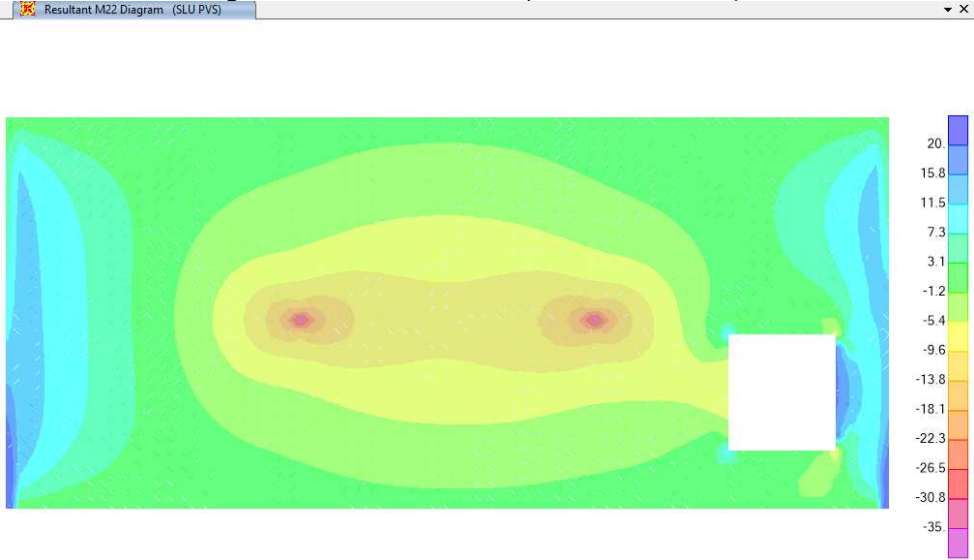


Figura 9.71 SLU FOND.2: M22, max= -35.10 kNm/m

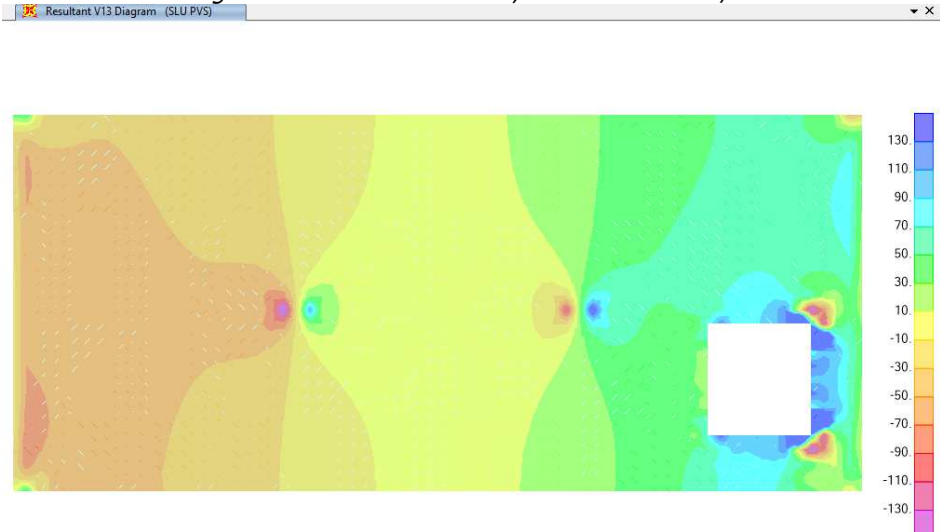


Figura 9.72 SLU FOND.2: V13, max= 133.42 kN/m

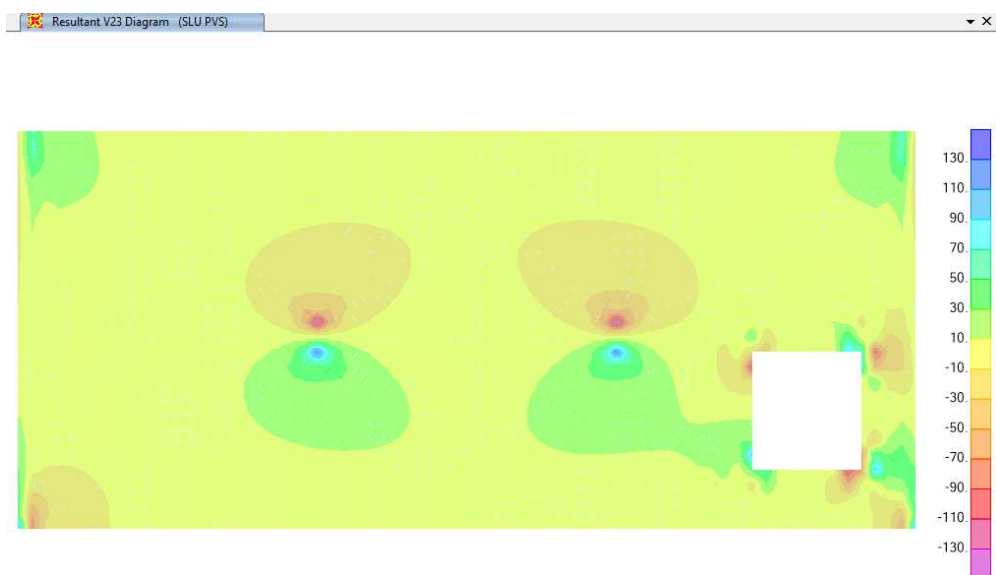


Figura 9.73 SLU. FOND2: V23, max= 131.22 kN/m

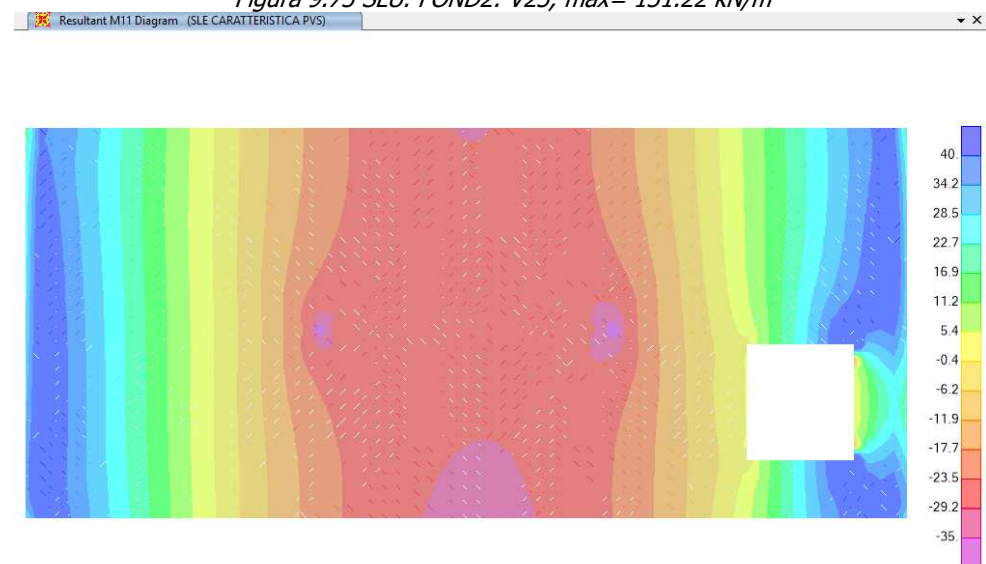


Figura 9.74 R2: M11, max= -41.01 kNm/m

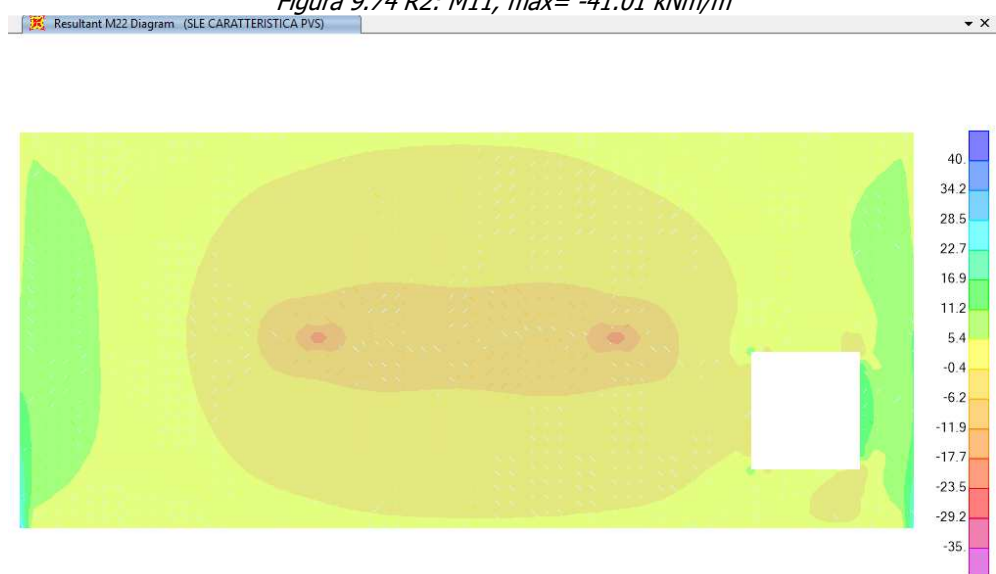
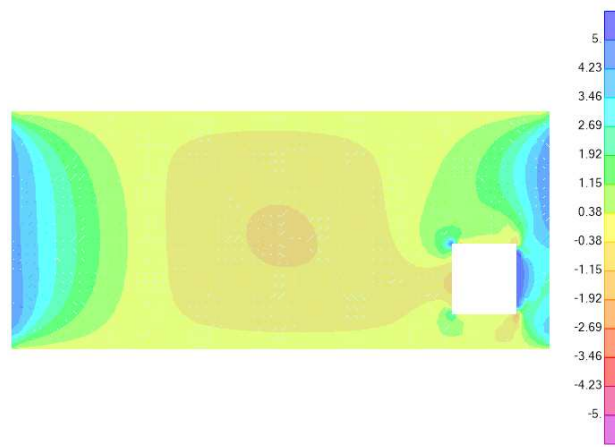
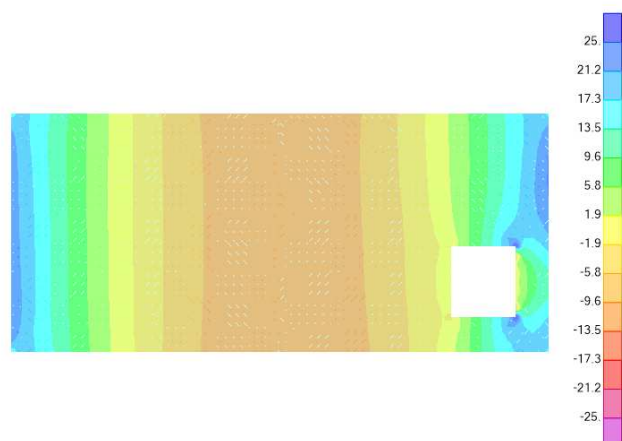
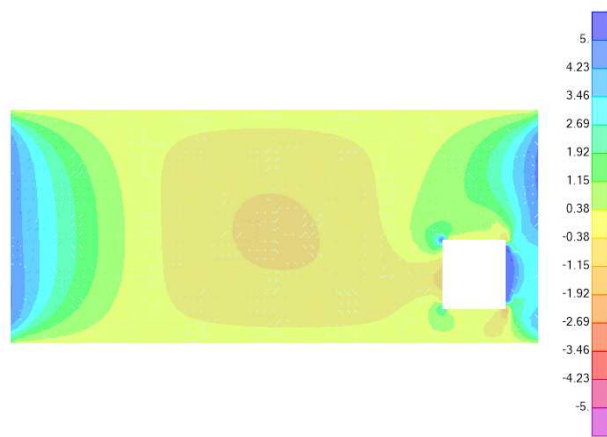
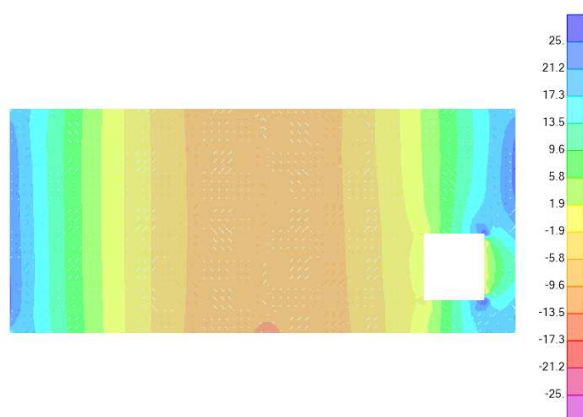
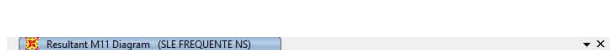


Figura 9.75 R2: M22, max= -23.49 kNm/m



9.4 Verifiche effettuate

9.4.1 Verifiche della platea di fondazione

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	77.64	0.00	220.19	0.00
RARA	59.58			
FREQ.	40.02			
Q. PERM.	30.98			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 4 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa
$\alpha_{cc} =$	0.85	
$\gamma_c =$	1.5	
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa

*coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo*

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa
$\gamma_s =$	1.15	
$E_s =$	210 000	MPa

coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	96	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 220.19 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 100 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 96 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 232.53 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.46 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0008 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 10\,000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 340.29 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.354$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 232.53 \text{ kN} > V_{Ed} = 220.19 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 77.64 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 100 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 96 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	289.85	kNm	>	$M_{Ed} =$	77.64	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	59.58	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			13.06	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			877 939	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.89	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	84.43	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	30.98	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	13.06	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	877 939	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 43.90 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00059 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00013$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 28.98 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 50.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.008 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.056	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica a flessurazione

$M_{Ed} =$	40.02	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm		$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm		$d =$	96	cm
$n =$	15					

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 15.39 \quad \text{cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} = 13.06 \quad \text{cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 877 \, 939 \quad \text{cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 56.71 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00053 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00016$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff \, 1} = 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff \, 2} = (h - x) / 3 = 28.98 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff \, 3} = h / 2 = 50.00 \quad \text{cm}$$

$$A_{c,eff} = \min (h_{c,eff \, i}) * b = 1000.00 \quad \text{cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.008$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \quad \text{cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.072 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.46 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 43.90 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	240.39	0.00	266.24	0.00
RARA	184.57			
FREQ.	182.55			
Q. PERM.	182.47			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 4 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	96	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 266.24 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 100 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 96 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 274.94 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.46 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0013 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 10\,000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 340.29 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.354$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 274.94 \text{ kN} > V_{Ed} = 266.24 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$M_{Ed} = 240.39 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

dove:

$$A_{S,compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S,tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 100 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 96 \quad \text{cm}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 437\,299 \quad x \quad - 37\,406\,944 = 0$$

$$x = 3.72 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -54.46 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	471.94	kNm	>	$M_{Ed} =$	240.39	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	184.57	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				16.09	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				1 385 451	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.14	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	159.69	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	182.47	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	16.09	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1 385 451	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 157.87 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00025 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00045$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 27.97 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 50.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.170	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	182.55	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	16.09	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1 385 451	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 157.94 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00025 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00045$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 27.97 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 50.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.170	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.12	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	157.87	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	------------------	--------	-----

9.4.2 Verifiche delle pareti

9.4.2.1 PARETE 1

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	125.95	0.00	213.68	218.46
RARA	93.11			
FREQ.	82.64			
Q. PERM.	82.60			

VERIFICA PARETE 1 BLOCCO 4 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	61	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 213.68 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 65 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 61 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 235.38 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.57 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0026 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 6500 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 242.60 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.398$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 235.38 \text{ kN} > V_{Ed} = 213.68 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 125.95 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 65 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 61 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 539\,876 \quad x \quad - 46\,181\,412 = 0$$

$$x = 4.01 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 2.28 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	364.60	kNm	>	$M_{Ed} =$	125.95	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	93.11	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				13.41	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				634 880	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.97	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	104.69	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	82.60	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	13.41	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	634 880	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 92.87 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00003 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00027$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 17.20 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 32.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.25 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.094	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	82.64	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ20	+	Φ =	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ20	+	Φ =	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	13.41	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	634 880	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 92.91 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = \mathbf{0.00003} < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = \mathbf{0.00027}$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 17.20 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 32.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.25 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.094	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.75	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	92.87	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	121.28	0.00	227.34	0.00
RARA	96.76			
FREQ.	94.51			
Q. PERM.	92.79			

VERIFICA PARETE 1 BLOCCO 4 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	61	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 227.34 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 65 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 61 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 235.38 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.57 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0026 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 6500 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 242.60 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.398$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 235.38 \text{ kN} > V_{Ed} = 227.34 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 121.28 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 65 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 61 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 539\,876 \quad x \quad - 46\,181\,412 = 0$$

$$x = 4.01 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 2.28 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	364.60	kNm	>	$M_{Ed} =$	121.28	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	96.76	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				13.41	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				634 880	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.04	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	108.79	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	92.79	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	13.41	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	634 880	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 104.33 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00008 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00030$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 17.20 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 32.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.25 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.105	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	94.51	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ20	+	Φ =	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ20	+	Φ =	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	13.41	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	634 880	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 106.26 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = \mathbf{0.00009} < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = \mathbf{0.00030}$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 17.20 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 32.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.25 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.107	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.96	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	104.33	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	---------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

9.4.2.2 PARETE 2

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	160.31	0.00	218.95	227.55
RARA	128.44			
FREQ.	118.64			
Q. PERM.	117.33			

VERIFICA PARETE 2 BLOCCO 4 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952	
$\beta_2 =$	0.41597	
$\epsilon_{c,2} =$	0.002	
$\epsilon_{cu} =$	0.0035	
$\epsilon_{uk} =$	0.075	
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186	
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675	

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	95	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	91	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 218.95 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 95 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 91 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 287.03 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.47 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0017 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 9500 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 326.68 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.359$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 287.03 \text{ kN} > V_{Ed} = 218.95 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 160.31 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 95 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 91 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 539\,876 \quad x \quad - 46\,181\,412 = 0$$

$$x = 4.01 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 2.28 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	549.00	kNm	>	$M_{Ed} =$	160.31	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	128.44	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	95	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	91	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				16.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				1 493 836	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.46	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	95.48	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	117.33	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	95	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	91	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	16.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1 493 836	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 87.22 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00000 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00025$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 26.01 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 47.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.25 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.088	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	118.64	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ20	+	Φ =	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ20	+	Φ =	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	95	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	91	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	16.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1 493 836	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 88.20 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = \mathbf{0.00001} < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = \mathbf{0.00025}$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 26.01 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 47.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.25 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.089	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.33	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	87.22	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	126.83	0.00	150.81	0.00
RARA	97.61			
FREQ.	97.57			
Q. PERM.	97.52			

VERIFICA PARETE 2 BLOCCO 4 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	95	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	91	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 150.81 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 20 \quad + \quad \Phi = 15.71 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 95 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 91 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 287.03 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.47 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0017 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 9500 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 326.68 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.359$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 287.03 \text{ kN} > V_{Ed} = 150.81 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 126.83 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 20 & + & \Phi = & 15.71 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 95 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 91 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 539\,876 \quad x \quad - 46\,181\,412 = 0$$

$$x = 4.01 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = 2.28 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	549.00	kNm	>	$M_{Ed} =$	126.83	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	97.61	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	95	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	91	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				16.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				1 493 836	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.11	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	72.56	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	97.52	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	95	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	91	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	16.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1 493 836	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 72.50 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00007 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00021$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 26.01 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 47.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.25 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.073	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	97.57	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 20$	+	$\Phi =$	15.71	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	95	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	91	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	31.42	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			16.96	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			1 493 836	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 72.53 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00007 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00021$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 26.01 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 47.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.016 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 35.25 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.073	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.11	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	72.50	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

9.4.2.3 PARETE 3

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	58.97	0.00	105.14	128.96
RARA	45.44			
FREQ.	45.42			
Q. PERM.	45.36			

VERIFICA PARETE 3 BLOCCO 4 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952	
$\beta_2 =$	0.41597	
$\epsilon_{c,2} =$	0.002	
$\epsilon_{cu} =$	0.0035	
$\epsilon_{uk} =$	0.075	
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186	
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675	

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	36	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 105.14 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 40 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 36 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * p_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 158.40 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.75 \leq 2$$

$$p_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0028 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 4000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 167.40 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.465$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 158.40 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 105.14 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 58.97 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 40 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 36 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 345\,521 \quad x \quad - 29\,556\,104 = 0$$

$$x = 3.41 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -125.99 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	139.30	kNm	>	$M_{Ed} =$	58.97	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	45.44	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	8.37	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	137 546	cm ⁴			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.77	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	136.90	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	45.36	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	8.37	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	137 546	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 136.66 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00003 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00039$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 10.54 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.159	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	45.42	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	8.37	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	137 546	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 136.84 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = \mathbf{0.00003} < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = \mathbf{0.00039}$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 10.54 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.159	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.76	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	136.66	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	---------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	37.83	0.00	124.67	0.00
RARA	29.13			
FREQ.	25.63			
Q. PERM.	25.14			

VERIFICA PARETE 3 BLOCCO 4 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	36	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 124.67 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 40 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 36 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 130.75 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.75 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0016 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 4000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 167.40 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.465$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 130.75 \text{ kN} > V_{Ed} = 124.67 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 37.83 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 40 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 36 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	82.71	kNm	>	$M_{Ed} =$	37.83	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	29.13	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			6.71	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			83 463	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.34	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	153.32	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	25.14	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.71	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	83 463	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 132.32 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00045 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00038$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 11.10 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.68 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.188	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	25.63	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.71	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	83 463	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 134.90 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00044 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00039$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 11.10 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.68 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.191	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.02	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	132.32	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	------------------	--------	-----

9.4.2.4 PARETE 4

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	50.66	0.00	41.78	248.72
RARA	38.90			
FREQ.	38.70			
Q. PERM.	38.60			

VERIFICA PARETE 4 BLOCCO 4 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952	
$\beta_2 =$	0.41597	
$\epsilon_{c,2} =$	0.002	
$\epsilon_{cu} =$	0.0035	
$\epsilon_{uk} =$	0.075	
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186	
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675	

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	76	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 41.78 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 80 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 76 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 244.42 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.51 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0017 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 285.24 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.375$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 244.42 \text{ kN} > V_{Ed} = 41.78 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 50.66 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 80 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 76 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 437\,299 \quad x \quad - 37\,406\,944 = 0$$

$$x = 3.72 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -54.46 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	372.37	kNm	>	$M_{Ed} =$	50.66	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	38.90	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				14.07	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				844 177	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.65	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	42.81	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	38.60	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	14.07	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	844 177	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 42.48 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00030 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00012$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 21.98 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.046	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	38.70	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ18	+	Φ =	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ18	+	Φ =	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	14.07	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	844 177	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 42.59 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00030 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00012$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 21.98 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.046	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.64	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	42.48	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	101.44	0.00	235.52	0.00
RARA	78.10			
FREQ.	78.01			
Q. PERM.	77.97			

VERIFICA PARETE 4 BLOCCO 4 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	76	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 235.52 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 80 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 76 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 244.42 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.51 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0017 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 8000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 285.24 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.375$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 244.42 \text{ kN} > V_{Ed} = 235.52 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 101.44 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 80 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 76 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 437\,299 \quad x \quad - 37\,406\,944 = 0$$

$$x = 3.72 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -54.46 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	372.37	kNm	>	$M_{Ed} =$	101.44	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	78.10	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				14.07	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				844 177	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.30	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	85.94	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	77.97	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	14.07	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	844 177	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 85.80 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00009 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00025$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 21.98 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.092	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	78.01	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ18	+	Φ =	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ18	+	Φ =	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	80	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	76	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	14.07	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	844 177	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 85.84 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00009 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00025$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 21.98 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 40.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.092	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.30	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	85.80	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

9.4.2.5 PARETE SUD

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	46.81	0.00	130.04	444.23
RARA	29.37			
FREQ.	24.57			
Q. PERM.	24.55			

VERIFICA PARETE SUD BLOCCO 4 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952	
$\beta_2 =$	0.41597	
$\epsilon_{c,2} =$	0.002	
$\epsilon_{cu} =$	0.0035	
$\epsilon_{uk} =$	0.075	
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186	
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675	

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	46	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 130.04 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 50 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 46 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 177.33 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.66 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 5000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 198.30 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.431$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 177.33 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 130.04 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 46.81 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 50 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 46 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 345\,521 \quad x \quad - 29\,556\,104 = 0$$

$$x = 3.41 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -125.99 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	178.64	kNm	>	$M_{Ed} =$	46.81	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	29.37	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			9.63	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			234 018	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.21	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	68.47	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	24.55	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	9.63	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	234 018	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 57.23 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00035 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00016$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 13.46 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.066	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	24.57	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	9.63	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	234 018	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 57.28 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00035 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00016$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 13.46 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.067	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.01	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	57.23	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	144.61	0.00	118.08	0.00
RARA	106.12			
FREQ.	106.10			
Q. PERM.	106.08			

VERIFICA PARETE SUD BLOCCO 4 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	46	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 118.08 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 50 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 46 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * p_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 177.33 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.66 \leq 2$$

$$p_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 5000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 198.30 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.431$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 177.33 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 118.08 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$M_{Ed} = 144.61 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

dove:

$$A_{S,compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S,tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 50 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 46 \quad \text{cm}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1 \, 303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15 \, 230 \quad x^2 \quad + \quad 345 \, 521 \quad x \quad - 29 \, 556 \, 104 = 0$$

$$x = 3.41 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -125.99 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	178.64	kNm	>	$M_{Ed} =$	144.61	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	---------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	106.12	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			9.63	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			234 018	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	4.37	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	247.40	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	106.08	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	9.63	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	234 018	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 247.30 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00055 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00071$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 13.46 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.200	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	106.10	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	9.63	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	234 018	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 247.35 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00055 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00071$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 13.46 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 40.66 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.287	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	4.36	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	247.30	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	------------------	--------	-----

9.4.3 Verifiche della soletta a quota 51.70 m s.l.m.

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	35.10	0.00	131.22	0.00
RARA	23.49			
FREQ.	6.73			
Q. PERM.	6.51			

VERIFICA SOLETTA BLOCCO 4 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952	
$\beta_2 =$	0.41597	
$\epsilon_{c,2} =$	0.002	
$\epsilon_{cu} =$	0.0035	
$\epsilon_{uk} =$	0.075	
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186	
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675	

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 131.22 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 26 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 137.13 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0039 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 134.84 \text{ kN} > V_{Ed} = 131.22 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$M_{Ed} = 35.10 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

dove:

$$A_{S,compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S,tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1 \, 303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15 \, 230 \quad x^2 \quad + \quad 345 \, 521 \quad x \quad - 29 \, 556 \, 104 = 0$$

$$x = 3.41 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -125.99 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	99.96	kNm	>	$M_{Ed} =$	35.10	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	23.49	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				6.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				67 227	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.43	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	99.78	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	6.51	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	67 227	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 27.65 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00036 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00008$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.68 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 767.91 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 34.38 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.027	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	6.73	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm		$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm		$d =$	26	cm
$n =$	15					

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 20.11 \quad \text{cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} = 6.96 \quad \text{cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 67\,227 \quad \text{cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 28.59 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00035 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00008$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff\,1} = 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,2} = (h - x) / 3 = 7.68 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,3} = h / 2 = 15.00 \quad \text{cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff\,i}) * b = 767.91 \quad \text{cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.013$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 34.38 \quad \text{cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.028 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.67 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 27.65 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	59.74	0.00	133.42	0.00
RARA	41.04			
FREQ.	26.23			
Q. PERM.	25.38			

VERIFICA SOLETTA BLOCCO 4 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 133.42 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \text{ cm}^2$$

con: $\lambda = 2$

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 26 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 137.13 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0039 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 134.84 \text{ kN} > V_{Ed} = 133.42 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 59.74 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 345\,521 \quad x \quad - 29\,556\,104 = 0$$

$$x = 3.41 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -125.99 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	99.96	kNm	>	$M_{Ed} =$	59.74	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	41.04	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			6.96	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			67 227	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	4.25	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	174.33	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	25.38	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	67 227	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 107.81 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00003 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00031$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.68 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 767.91 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 34.38 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.106	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	26.23	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.96	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	67 227	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 111.42 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = 0.00004 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00032$$

$$\begin{aligned} K_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 7.68 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) * b = 767.91 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 34.38 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.109	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.63	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	107.81	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	-----	------------------	--------	-----

10.2 Descrizione dei carichi e delle loro combinazioni

In accordo con la normativa vigente (NTC18, §2.6), le verifiche sono state condotte nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) e degli stati limite di esercizio (SLE), per garantire la stabilità e l'efficienza prestazionale delle opere in progetto.

Per le verifiche agli stati limite è stato applicato l'Approccio 2, con combinazione A1+M1+R3 (NTC18, §6.5.3). I valori dei coefficienti parziali adottati sono indicati nelle tabelle NTC18, Tabb. 6.2.I, 6.2.II, 6.5.I, riportate al Capitolo 6.2.

Oltre al peso proprio degli elementi strutturali, sono stati considerati i carichi di seguito elencati. Cautelativamente non è stata considerata la presenza di acqua gravante sulla platea di fondazione, né quella sulla soletta; non è stato così considerato alcun controbilanciamento per la platea alla sottospinta che si sviluppa in condizioni di piena, e riconoscendo per la soletta la sua totale immersione in caso all'innalzamento del tirante oltre l'estradosso. Nella tabella sottostante sono riportate le azioni considerate e le combinazioni con le quali sono state applicate durante la modellazione del blocco, secondo quanto disposto dalla normativa (NTC, §2.5.2, §2.5.3 - Tab. 2.5.I, categoria H).

Azioni	Coefficienti delle combinazioni						
	SLU FONDAMENTALE		SLE CARATTERISTICA (RARA)		SLE FREQUENTI	SLE QUASI.P.	SISMICA
	SLU FOND.1	SLU FOND.2	R1	R2	F1	QP	SISMICA
Permanenti strutturali							
Elementi strutturali							
Peso proprio	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Terreno e acqua							
Spinta del terreno saturo	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sottospinta dell'acqua	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Variabili							
Persone e mezzi su soletta							
Sovraccarico distribuito	1.50 · 0.00	1.50	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Sovraccarico concentrato	1.50 · 0.00	1.50	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Neve							
Sovraccarico distribuito	1.50	1.50 · 0.50	1.00	0.50	0.20	0.00	0.00
Sisma							
Elementi strutturali							
Forze inerziali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Terreno e acqua							
Sovraspinta su pareti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabella 10.1 Canale di sbocco – tratto coperto (blocco 5) - Combinazioni e coefficienti parziali

10.2.1 Azioni dovute al terreno e all'acqua

Considerando le indagini descritte nella relazione "R02 – Relazione geologica" e i parametri caratteristici dei terreni riportati nella "R03 – Relazione geotecnica e sismica", sono stati assunti i valori per i parametri di interesse delle analisi strutturali riportati in Tabella 6.2.

- Spinta del terreno saturo (carico permanente strutturale sfavorevole)

La pressione esercitata dalle terre è stata calcolata sulla base della seguente formula

$$q_t(z) \cong \gamma'_t \cdot k_A \cdot h - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_A} + z \cdot \gamma_w$$

dove:

- z è la coordinata che ha origine nel pelo libero del tirante di piena;
- γ'_t è il peso del terreno in condizioni immerse;
- γ_w è il peso dell'acqua,
- $k_A = \frac{1-\sin \phi'}{1+\sin \phi'}$ è il coefficiente di spinta attiva del terreno;
- ϕ' è l'angolo di attrito del terreno;
- h è l'altezza del terreno che partecipa alla spinta contro le pareti;
- c' è la coesione efficace del terreno.

Si ricavano così i valori limite della distribuzione lineare di q_t :

$$q_t(z = 5.20 \text{ m}) = 4.14 \cdot 0.00 - 15.45 + 9.81 \cdot 5.20 \cong 35.50 \text{ kPa}$$

$$q_t(z = 9.40 \text{ m}) = 4.14 \cdot 4.20 - 15.45 + 9.81 \cdot 9.40 \cong 94.14 \text{ kPa}$$

- Sottospinta dell'acqua (carico permanente strutturale sfavorevole)

La sottospinta dell'acqua relativa al tirante di falda posto a piano campagna vale:

$$U(z) \cong \gamma_w \cdot z$$

Si ricava quindi il valore costante della pressione U al di sotto della platea:

$$U(z = 9.40) \cong 9.81 \cdot 9.40 \cong 92.20 \text{ kPa}$$

10.2.2 Azioni dovute alle persone e ai mezzi sulla soletta

Il contributo allo stato di carico dato dalle persone e dai mezzi che possono accedere alla soletta di copertura è stato considerato in ottemperanza di quanto disposto dalla normativa NTC18, Tab. 3.1.II, già riportata al Capitolo 6.2.3. Per definire la configurazione delle impronte su cui il carico viene applicato, è stata considerata la tabella delle NTC18, Tab. 5.1.IX. riportata al Capitolo 6.2.4.

Per il caso in questione è stata considerata la categoria d'uso H e la tipologia di pneumatico C.

- Sovraccarichi concentrati (carico variabile sfavorevole)

Il carico concentrato dato dalle ruote dei mezzi transitanti sulla soletta $h_{k_{soletta}}$ è applicato, secondo quanto normato, su due impronte di 320x270mm distanti assialmente 2.00 m. Il carico su ogni impronta $p_{k_{soletta}}$ è pari a:

$$h_{k_{mezzo}} \cong 50.00 \text{ kN} \rightarrow p_{k_{mezzo}} \cong \frac{50.00}{0.27 \cdot 0.32} \cong 580.00 \text{ kPa}$$

- Sovraccarico distribuito (carico variabile sfavorevole)

Con riferimento alla categoria d'uso dell'opera H, il valore dei sovraccarichi risultanti dalla presenza di persone e mezzi sulla soletta è pari a:

$$p_{k_{soletta,2}} \cong 0.50 \text{ kPa}$$

10.2.3 Azioni dovute alla neve

La presenza della neve è stata considerata definendo il seguente carico distribuito, in accordo con la normativa (NTCC18, §3.4, estratti riportati al Capitolo 7.2.5 di questo elaborato):

- Peso della neve sulla soletta (carico variabile sfavorevole)

Considerando i valori dei coefficienti indicati dalla normativa e soprariportati, si ottiene:

$$q_s \cong q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t \cong 1.50 \cdot 0.80 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cong 1.20 \text{ kPa}$$

10.2.4 Azioni dovute a sisma agente sulla struttura

Le analisi sismiche, di cui al Capitolo 5.4, hanno permesso la stima dei coefficienti sismici, utili ora per la valutazione delle forze inerziali e delle sovraspinte agenti sulla struttura in caso di sisma.

- Forze inerziali degli elementi strutturali

Gli effetti del sisma sulle parti strutturali dell'opera sono simulati mediante l'applicazione di carichi gravitazionali, dati dal prodotto del peso di ogni elemento per il relativo coefficiente sismico. L'effetto dell'azione sismica è stato simulato attraverso l'involuppo delle azioni agenti nelle 4 direzioni planari (come da normativa NTC18, §7.3.5).

- Sovraspinta del terreno e dell'acqua sulle pareti

Le azioni agenti sulle pareti ricevono, in condizioni sismiche, un incremento dato dal valore caratteristico moltiplicato per il coefficiente sismico k_h .

10.3 Modellazione e risultati delle analisi

Applicando ai valori caratteristici ricavati nel Capitolo 10.2 i coefficienti delle diverse combinazioni riportati in Tabella 10.1, si ottengono i valori di progetto delle azioni con cui sono state eseguite le verifiche strutturali. Il comportamento del suolo, come specificato al Capitolo 4, è stato modellato considerando un comportamento cedevole, secondo il modulo di rigidità di Winkler riportato anch'esso in Tabella 6.1. Nei paragrafi che seguono vengono rappresentate le distribuzioni degli sforzi sulle diverse parti strutturali e nelle diverse combinazioni di carico; nelle didascalie vengono indicati il caso più critico osservato e i valori massimi di progetto per ogni combinazione (SLU Fondamentale, SLE Caratteristica – Rara, SLE Frequenti, SLE Quasi Permanenti, Sismica) i quali saranno considerati al Capitolo 10.4 per le verifiche e i dimensionamenti. Cautelativamente, l'azione assiale è stata trascurata nelle verifiche a flessione degli elementi strutturali compressi.

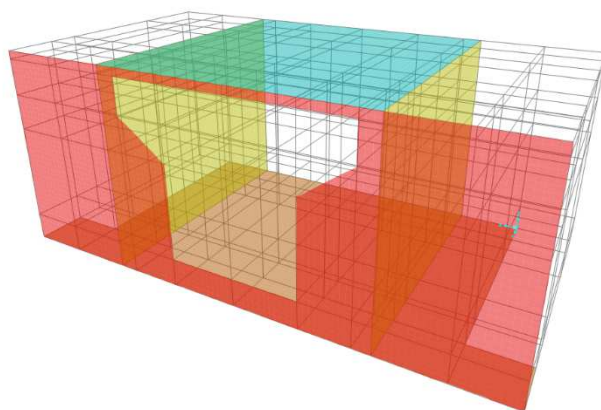
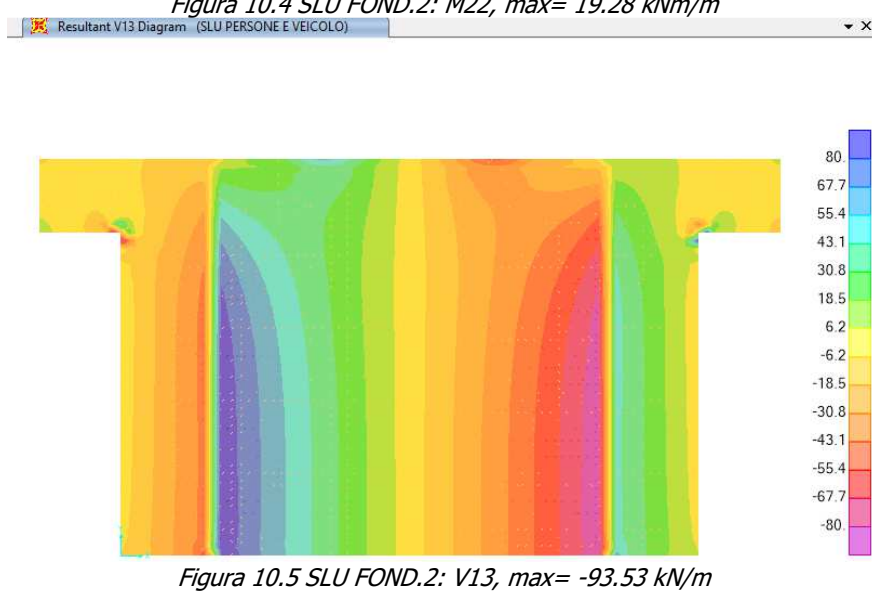
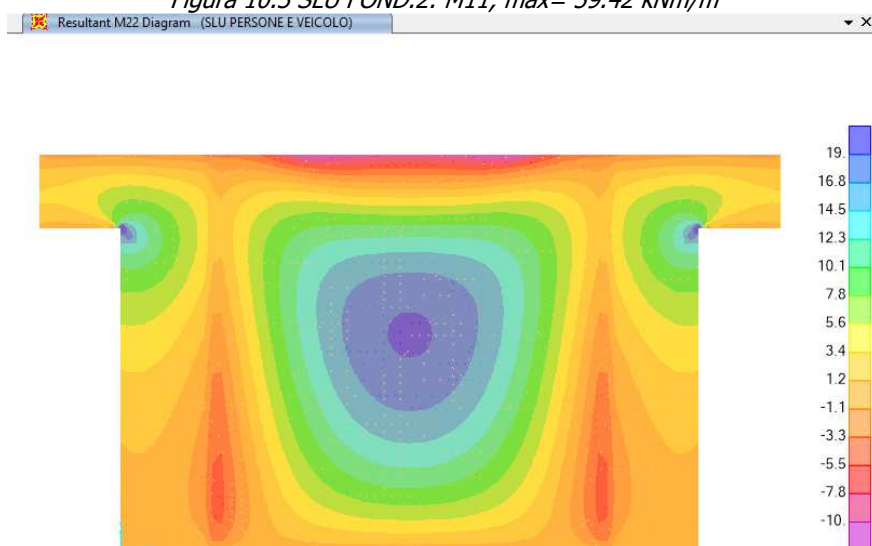
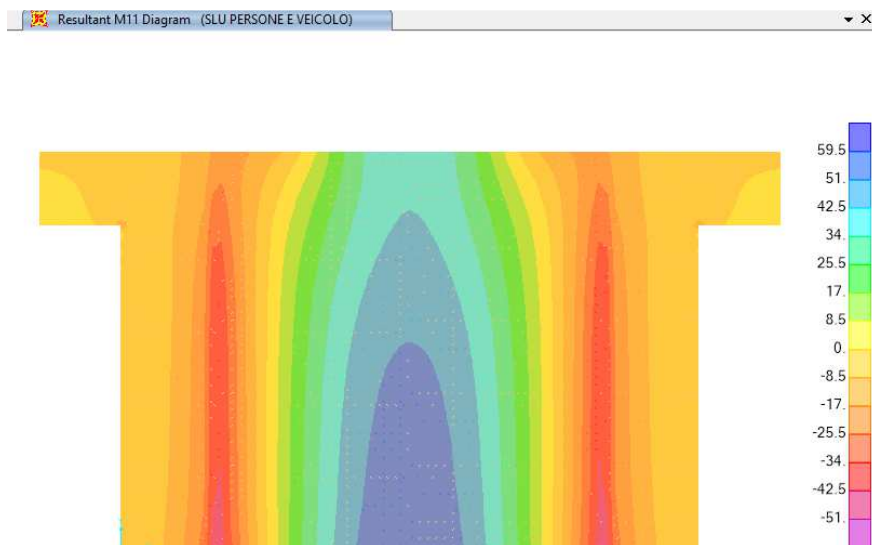
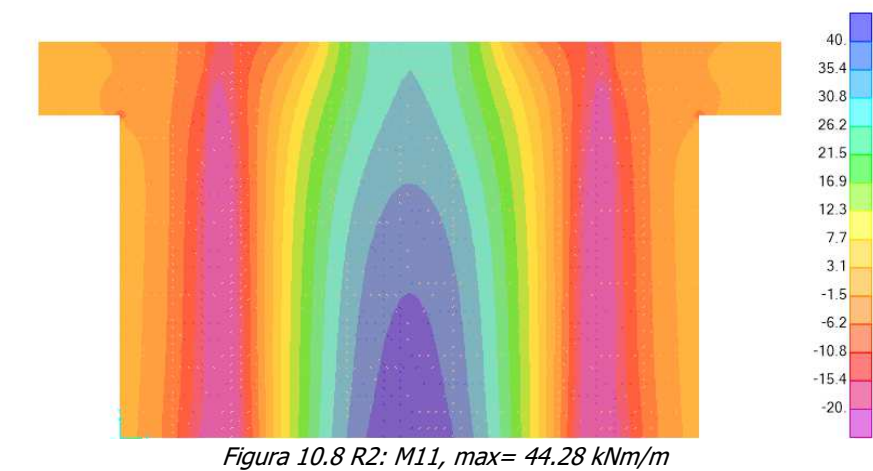
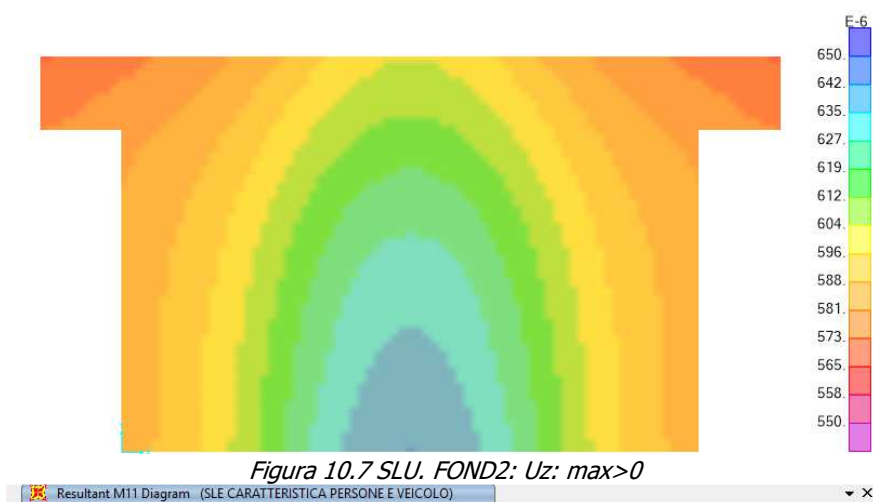
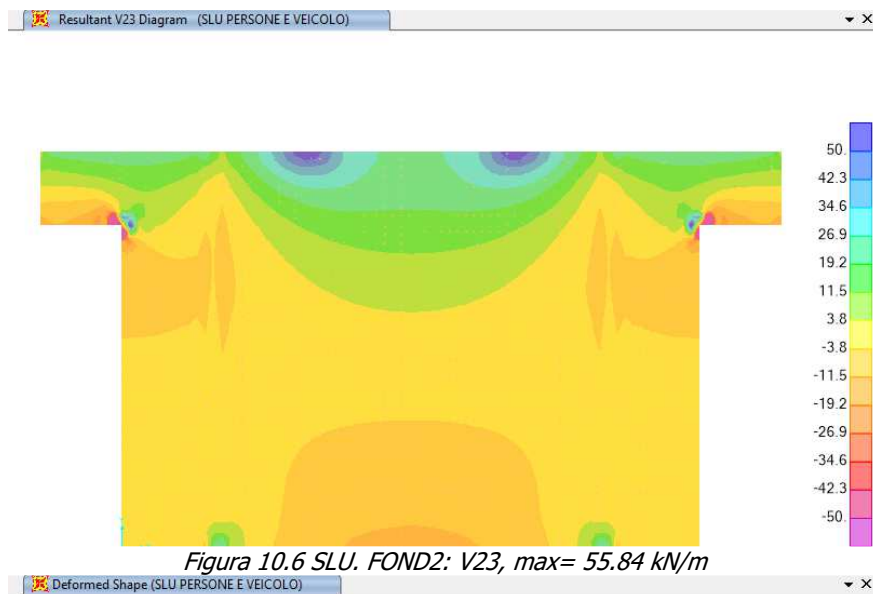
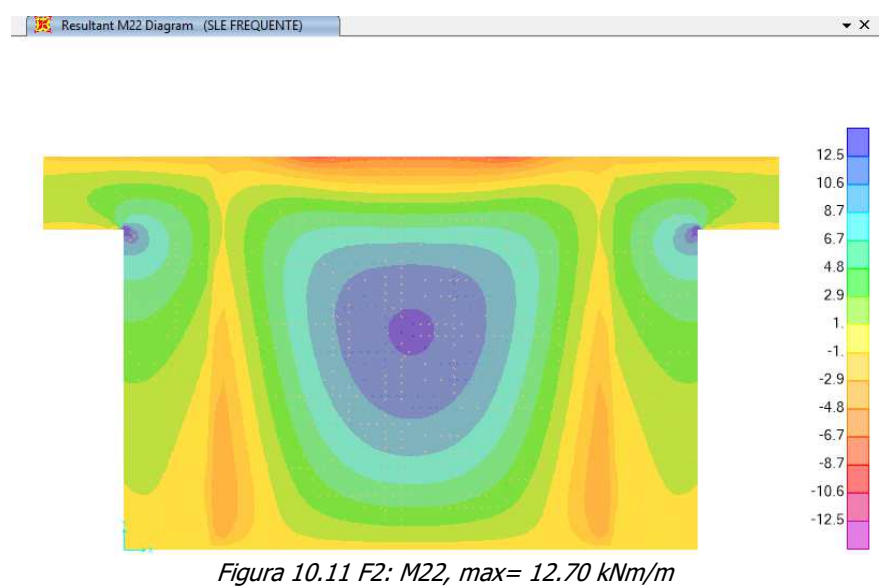
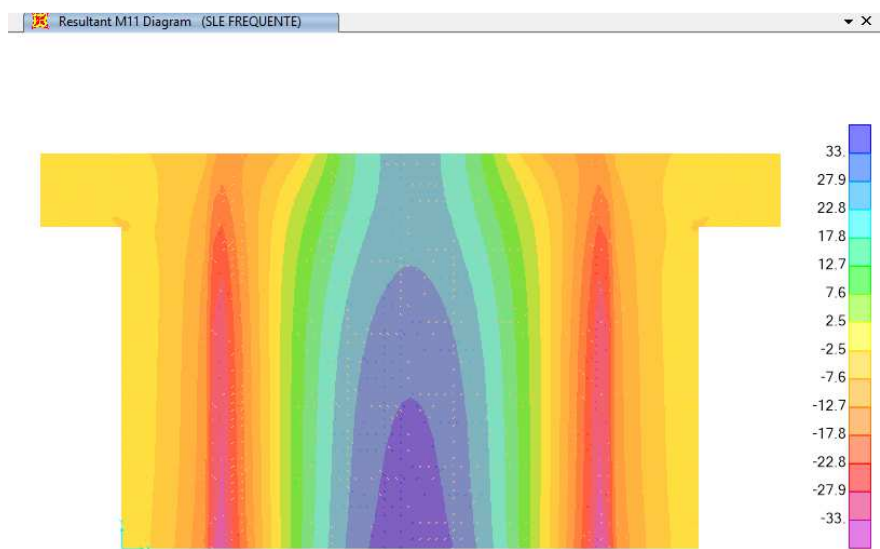
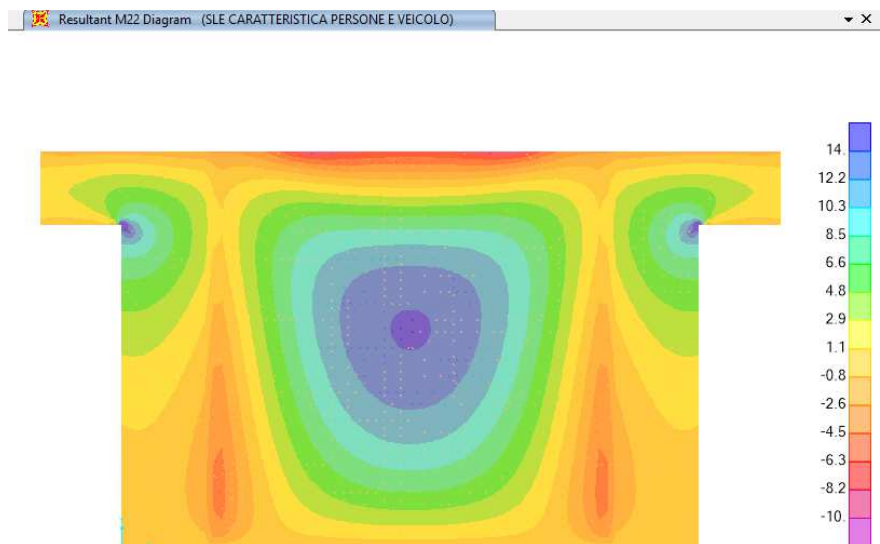


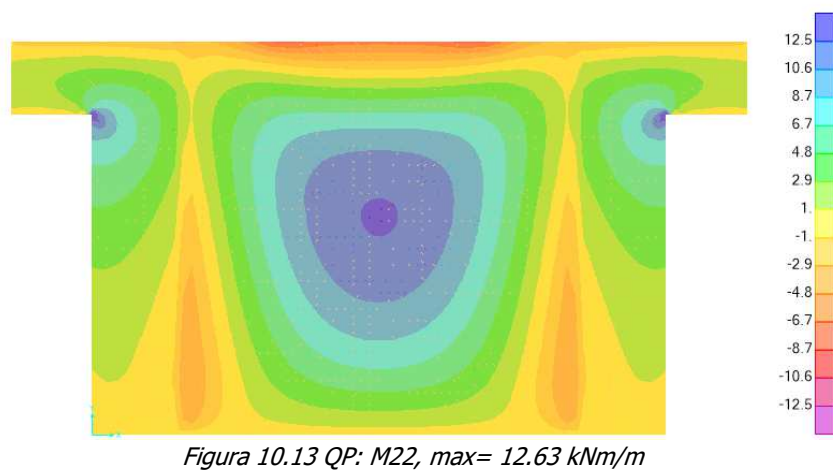
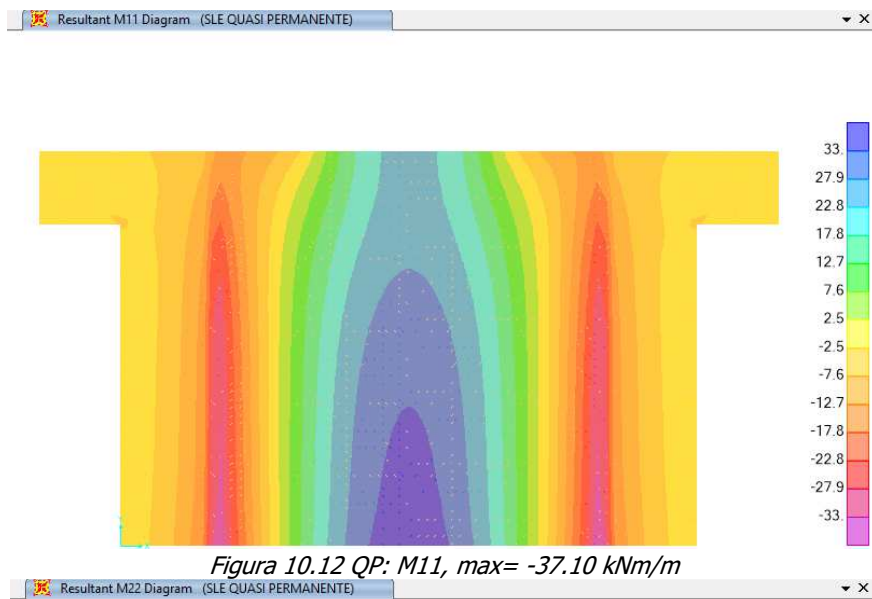
Figura 10.2 Modellazione canale di sbocco - tratto coperto (Blocco 5)

10.3.1 Platea di fondazione









10.3.2 Pareti

10.3.2.1 PARETI LATERALI

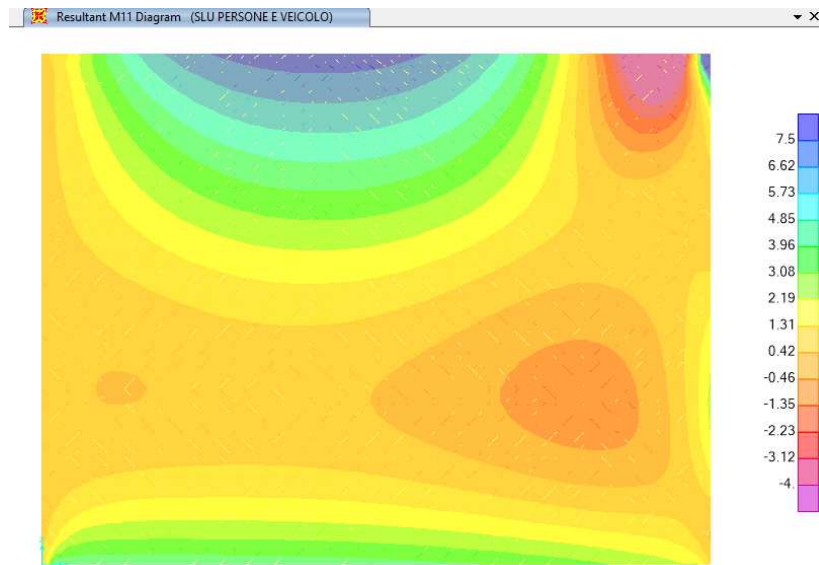


Figura 10.14 SLU FOND.2: M11, max= 8.06 kNm/m

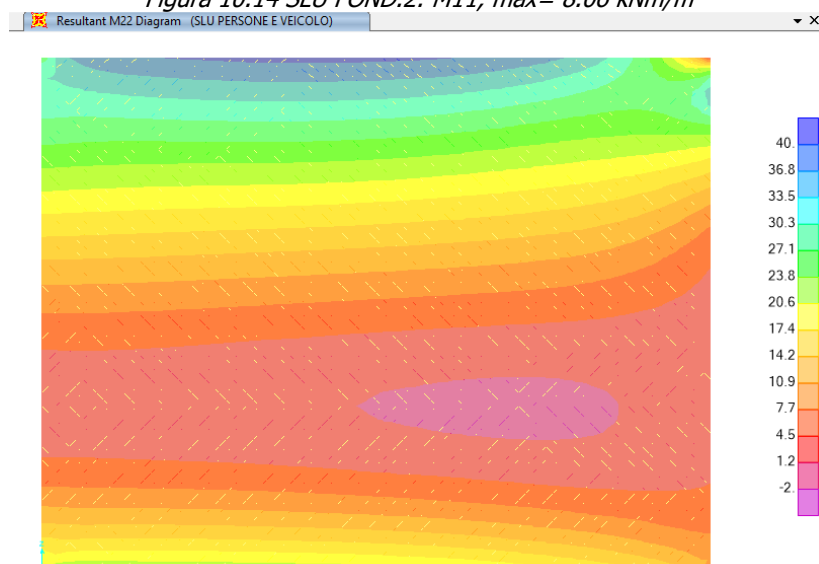
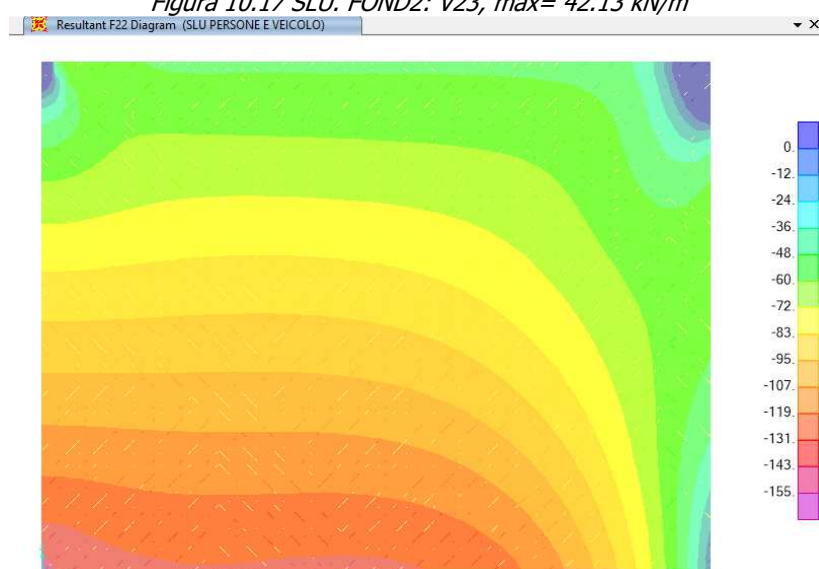
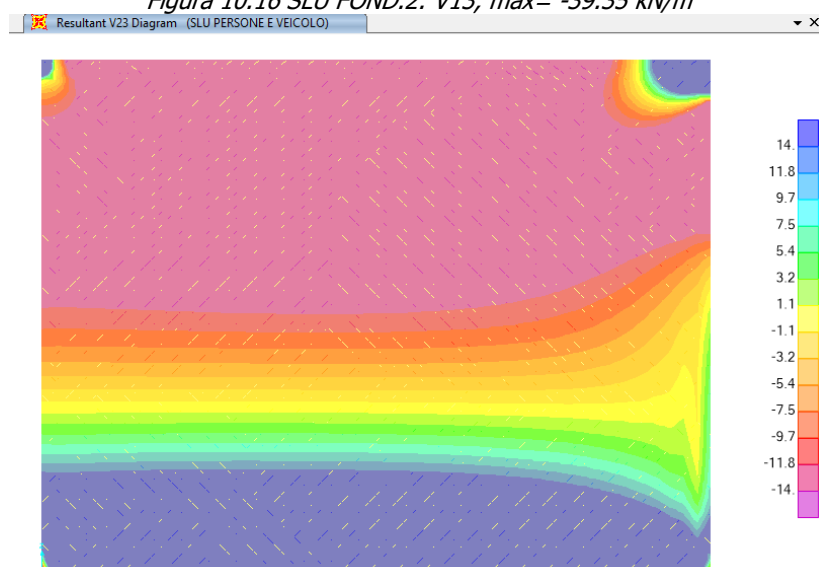
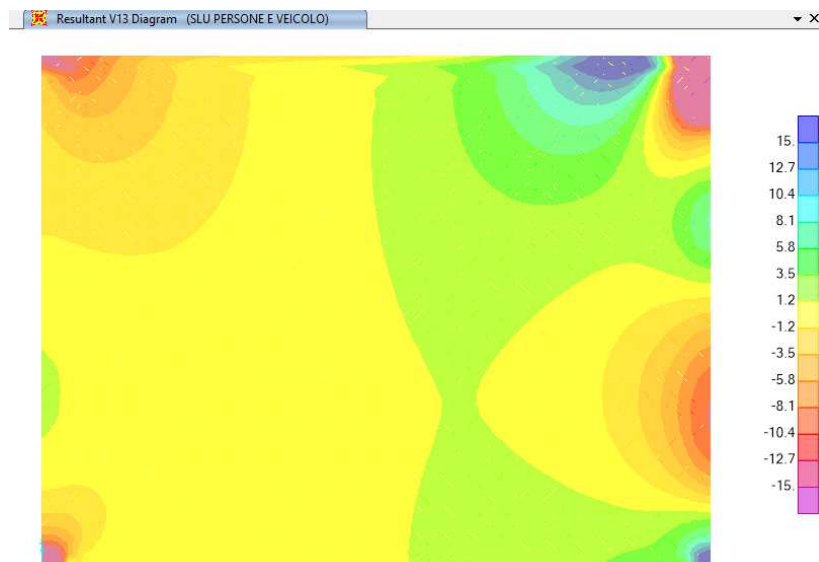


Figura 10.15 SLU FOND.2: M22, max= 40.93 kNm/m



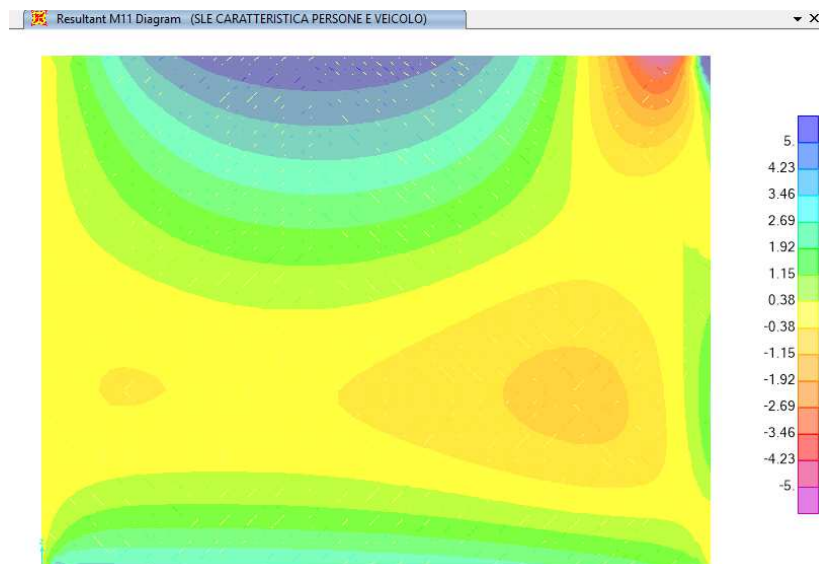


Figura 10.19 R2: M11, max= 5.76 kNm/m

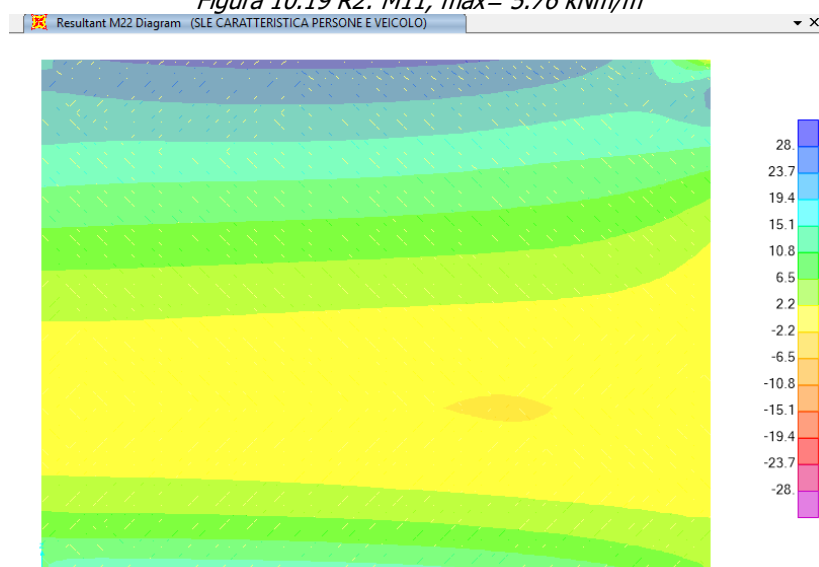


Figura 10.20 R2: M22, max= 29.19 kNm/m

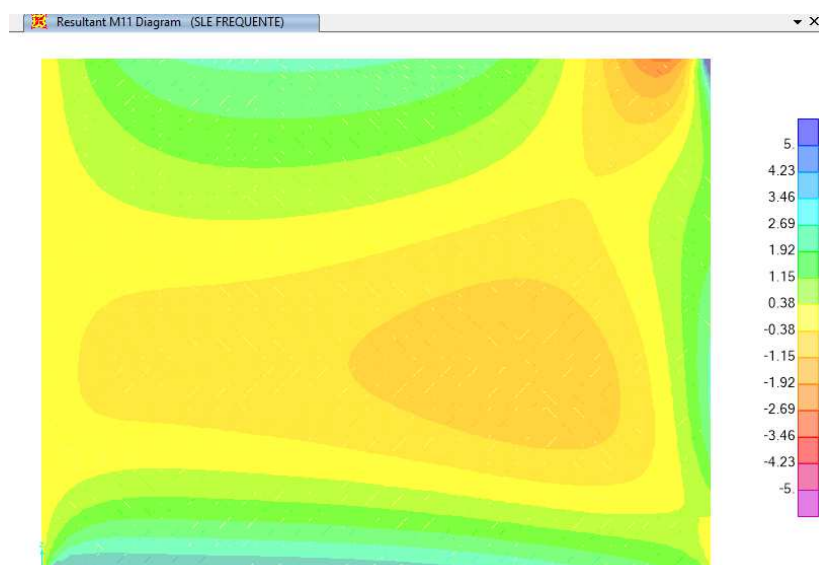


Figura 10.21 F1: M11, max= 4.56 kNm/m

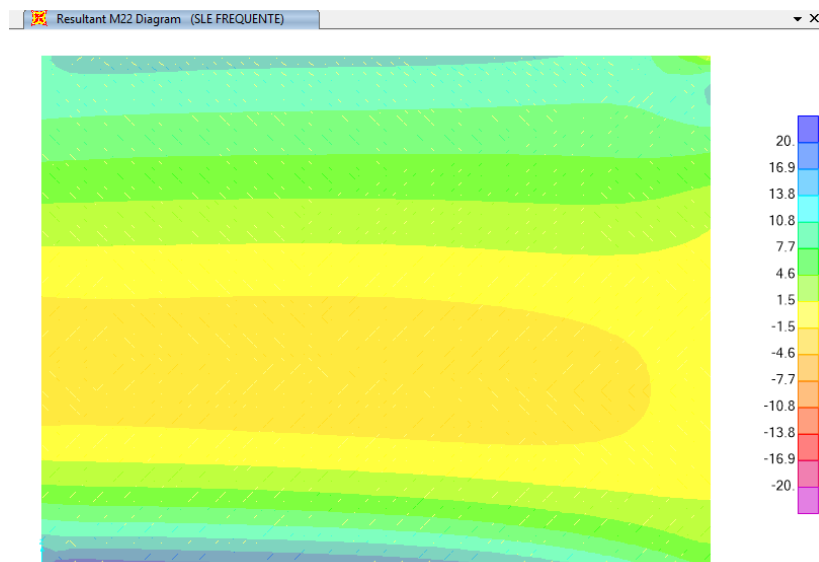


Figura 10.22 F2: M22, max= 22.62 kNm/m

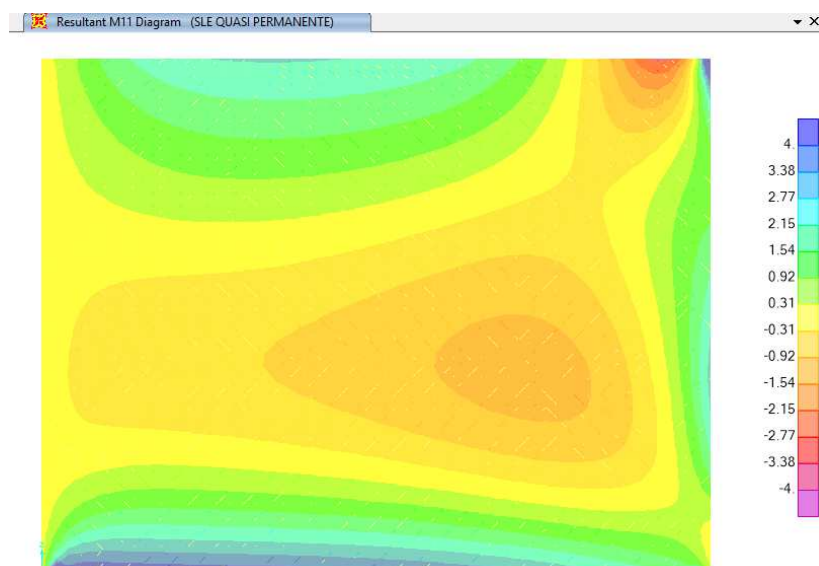


Figura 10.23 QP: M11, max= 4.31 kNm/m

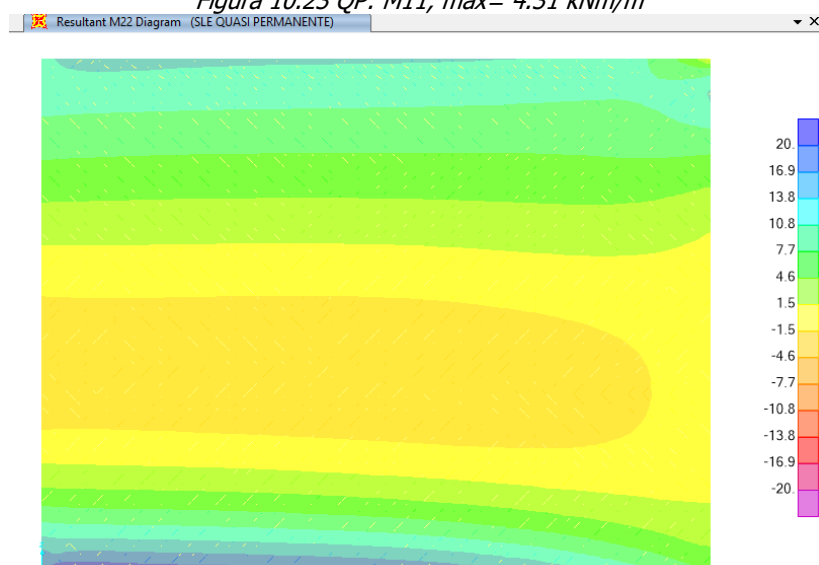


Figura 10.24 QP: M22, max= 22.37 kNm/m

10.3.2.2 PARETE NORD

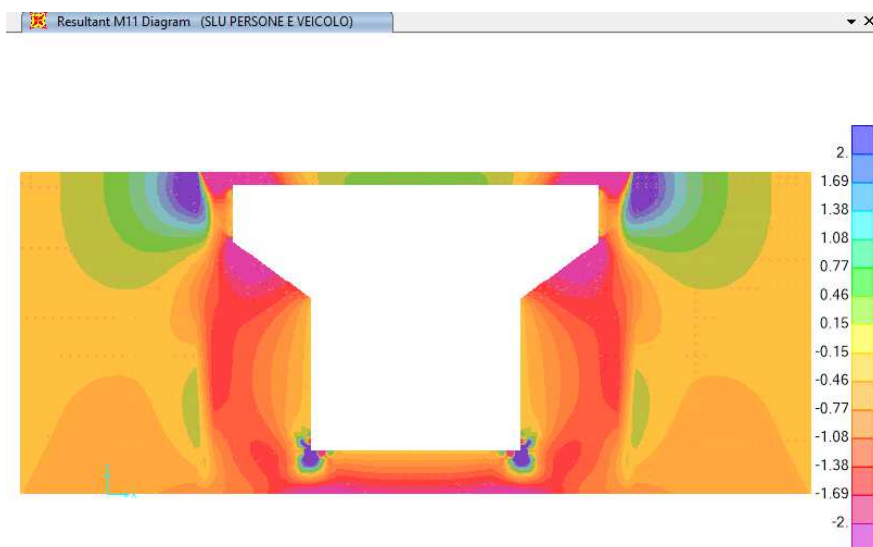


Figura 10.25 SLU FOND.2: M11, max= -2.63 kNm/m

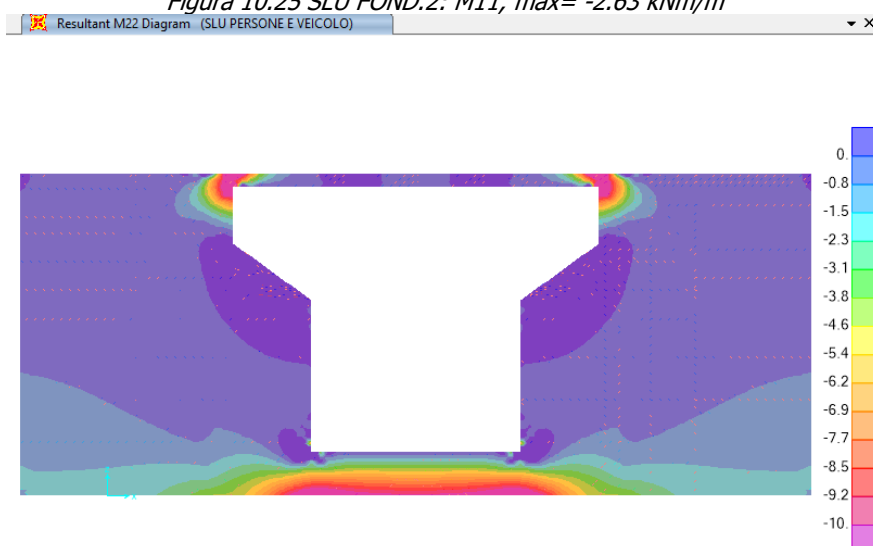


Figura 10.26 SLU FOND.2: M22, max= -13.18 kNm/m

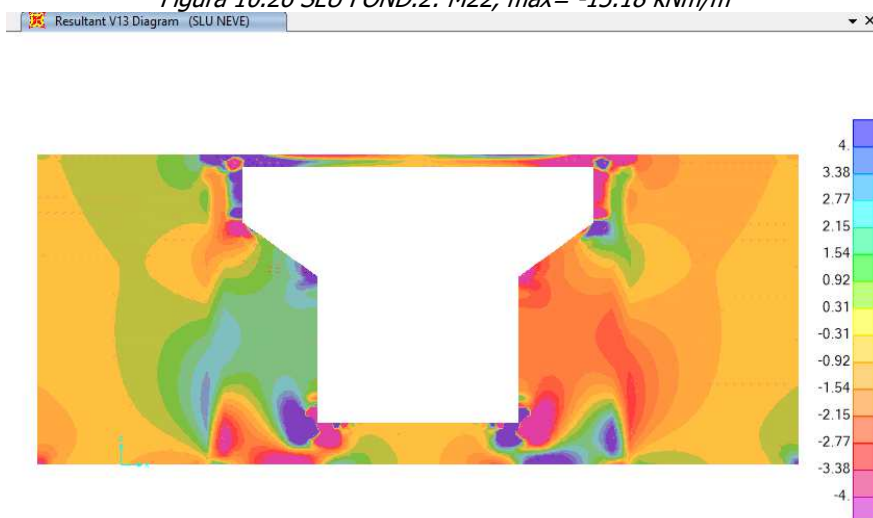


Figura 10.27 SLU FOND.1: V13, max= 7.71 kN/m



Figura 10.28 SLU. FOND2: V23, max= -37.06 kN/m

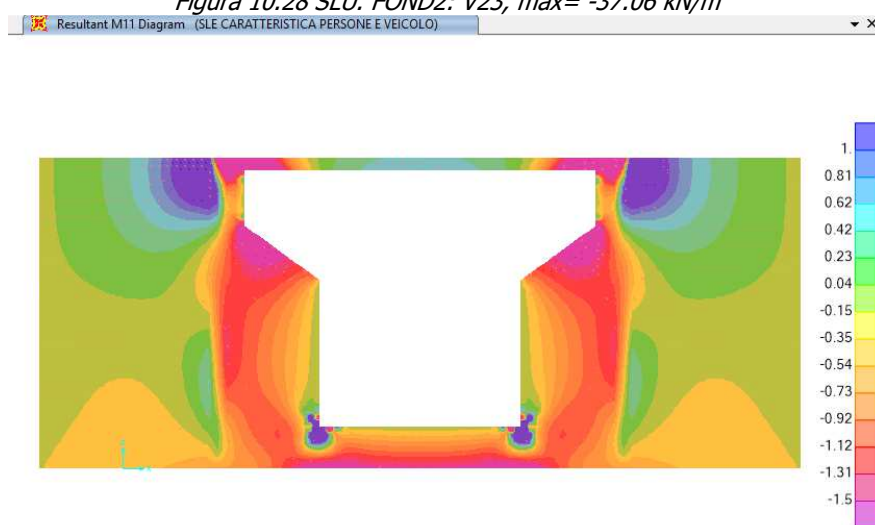


Figura 10.29 SLU. FOND2: M11: max= -1.98 kN/m

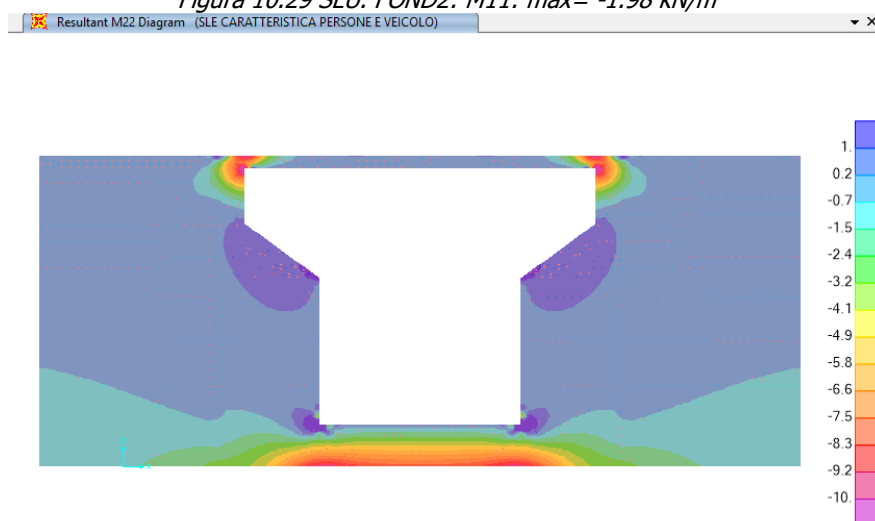
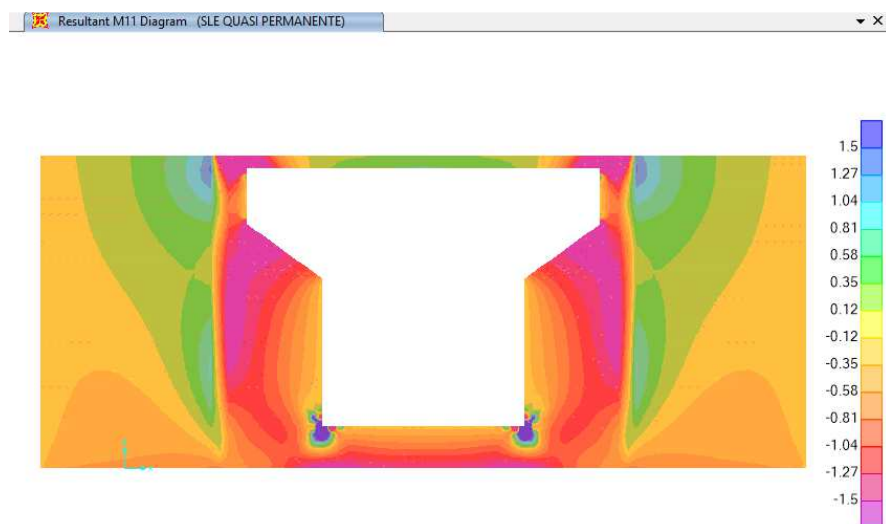
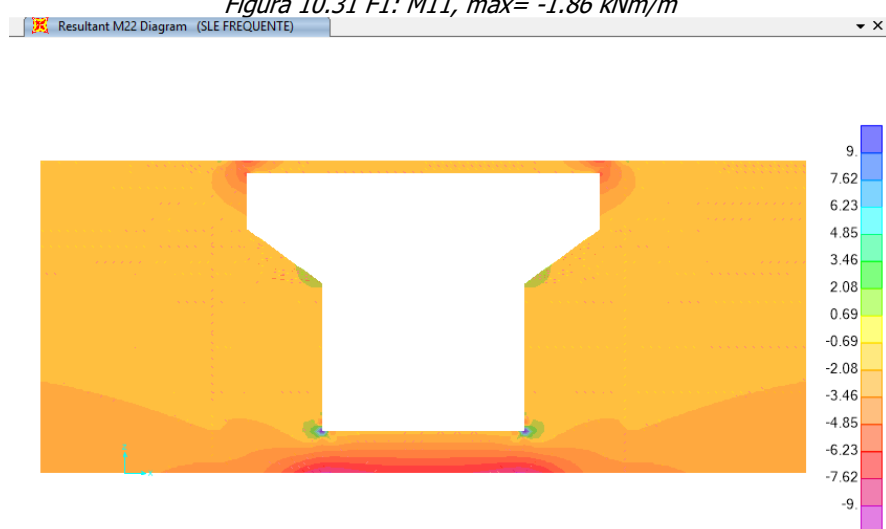
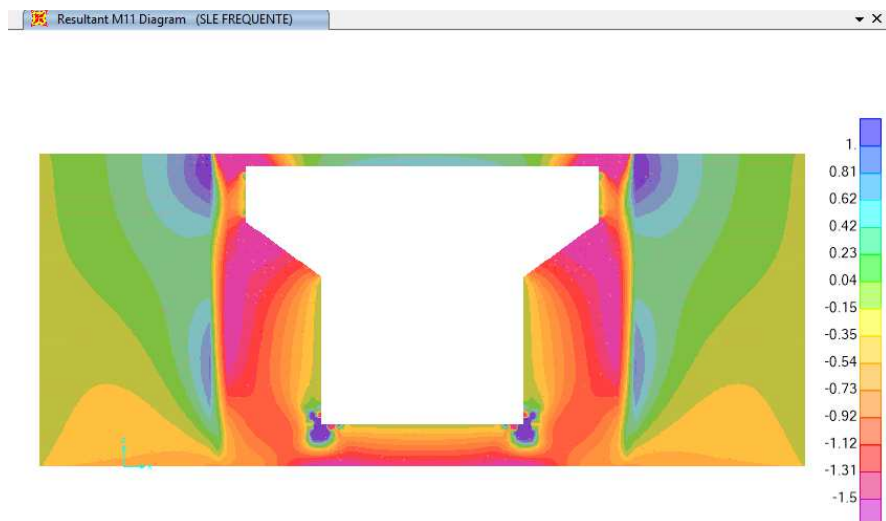


Figura 10.30 R2: M22, max= 5.76 kNm/m



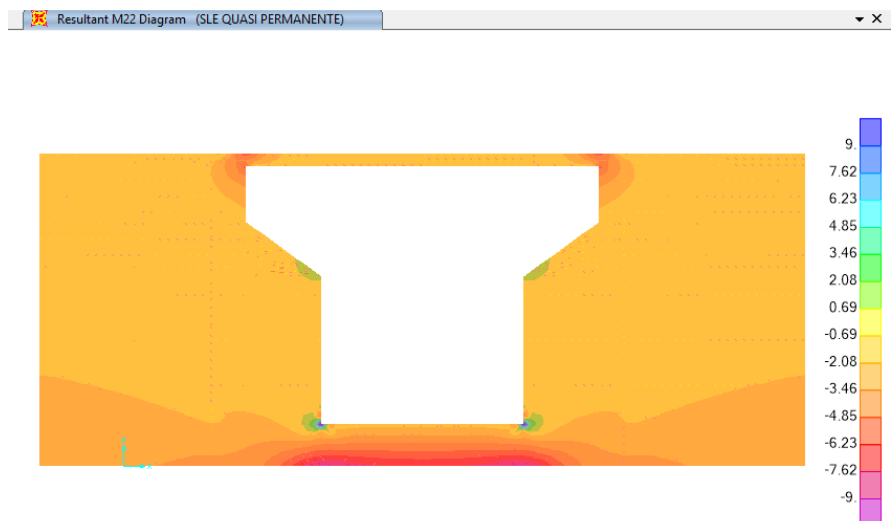


Figura 10.34 QP: M22, max= -9.26 kNm/m

10.3.3 Soletta di copertura

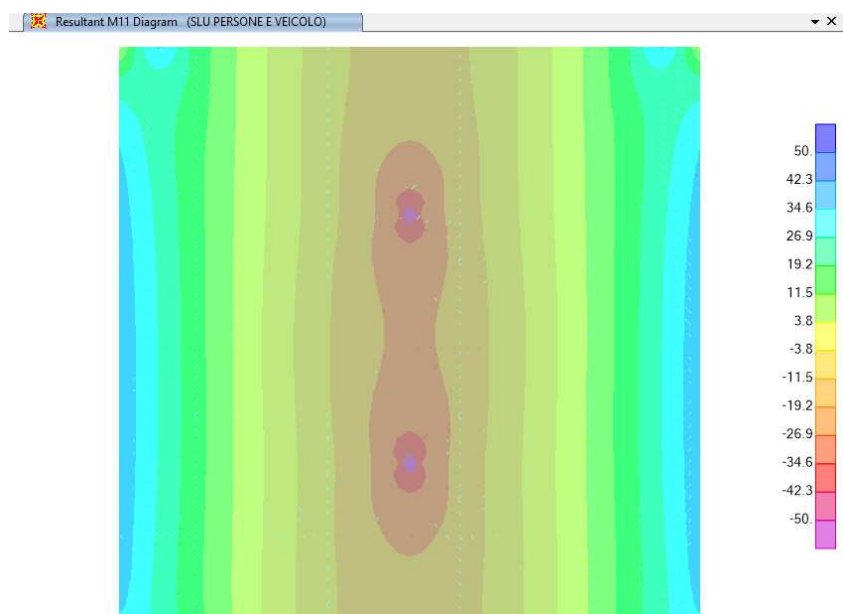


Figura 10.35 SLU FOND.2: M11, max= -53.43 kNm/m

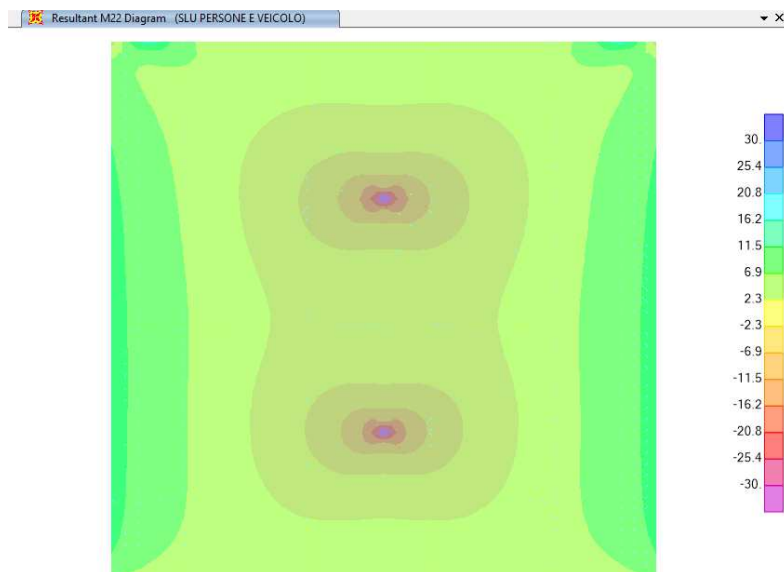


Figura 10.36 SLU FOND.2: M22, max= -34.90 kNm/m

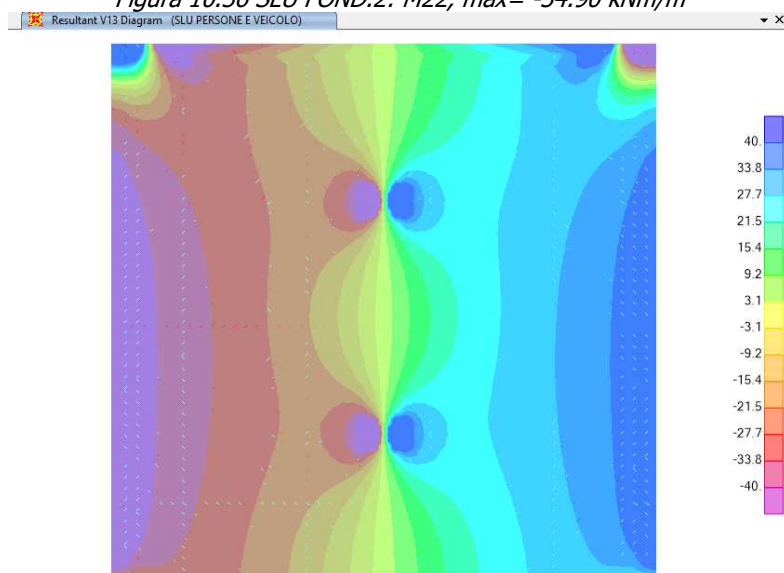


Figura 10.37 SLU FOND.2: V13, max= 130.42 kN/m

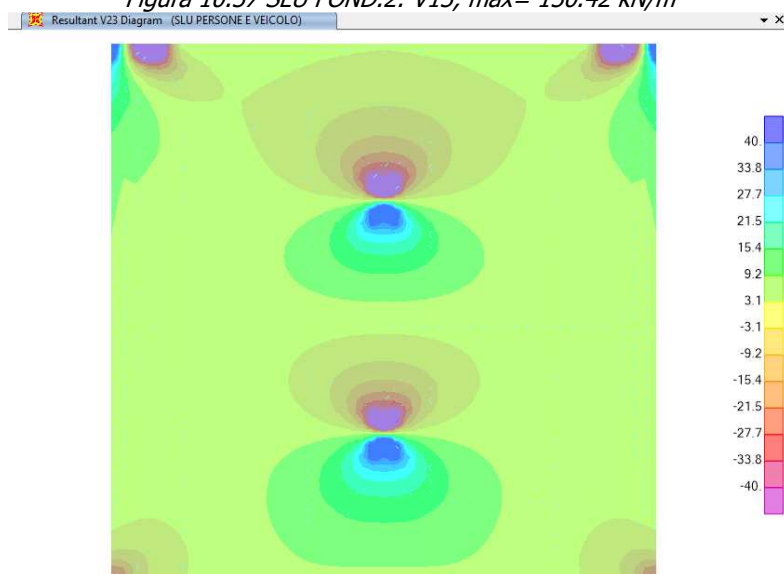


Figura 10.38 SLU. FOND2: V23, max= 130.67 kN/m

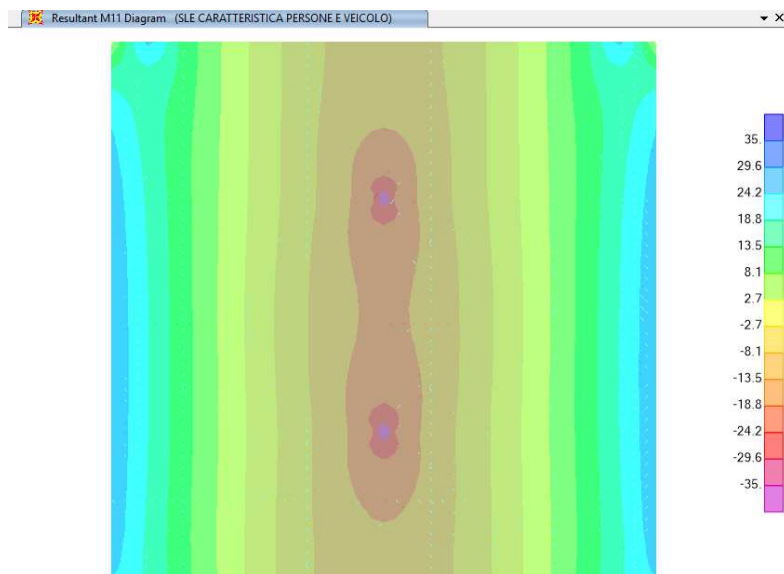


Figura 10.39 R2: M11, max= -36.63 kNm/m

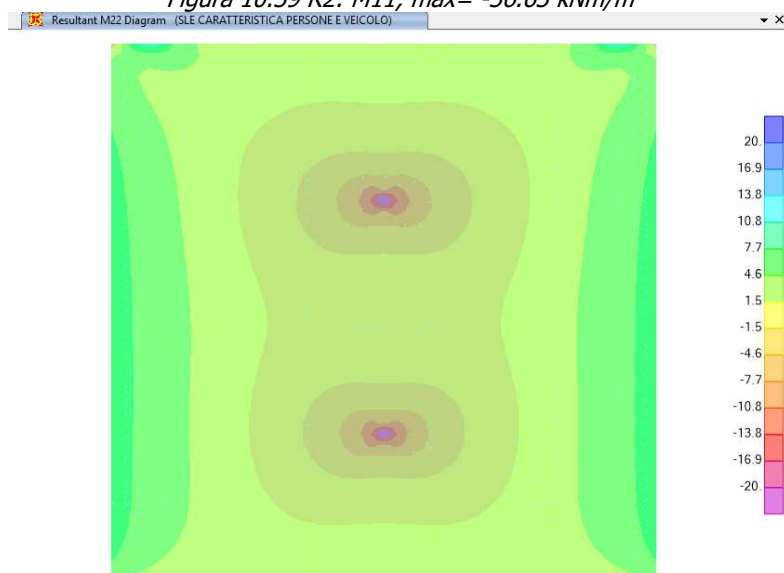


Figura 10.40 R2: M22, max= -23.47 kNm/m

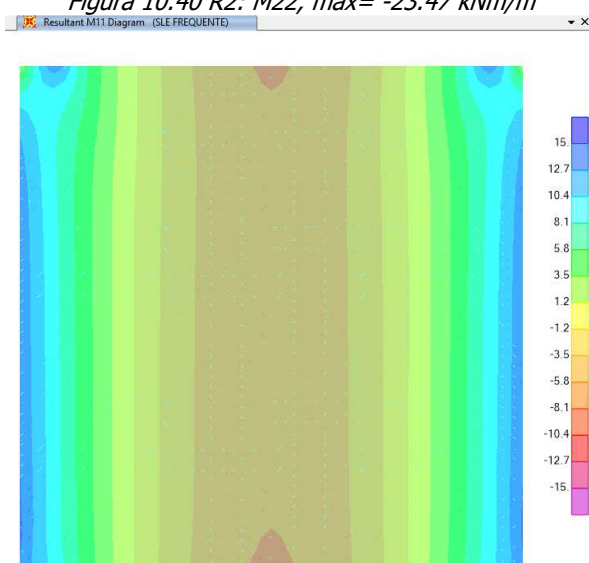


Figura 10.41 F1: M11, max= 15.49 kNm/m

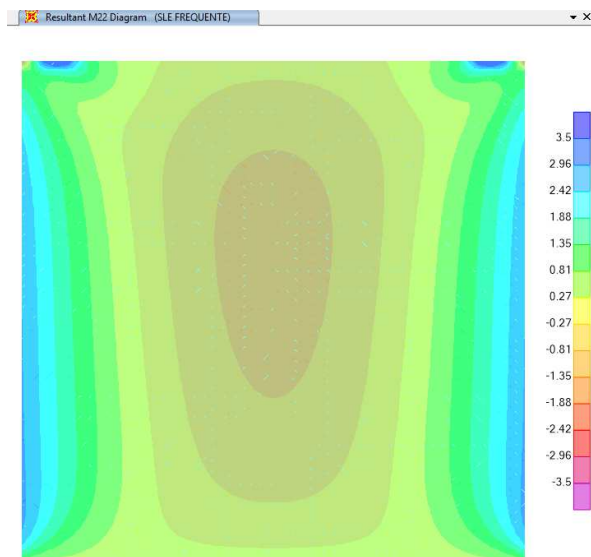


Figura 10.42 F1: M22, max= 3.14 kNm/m

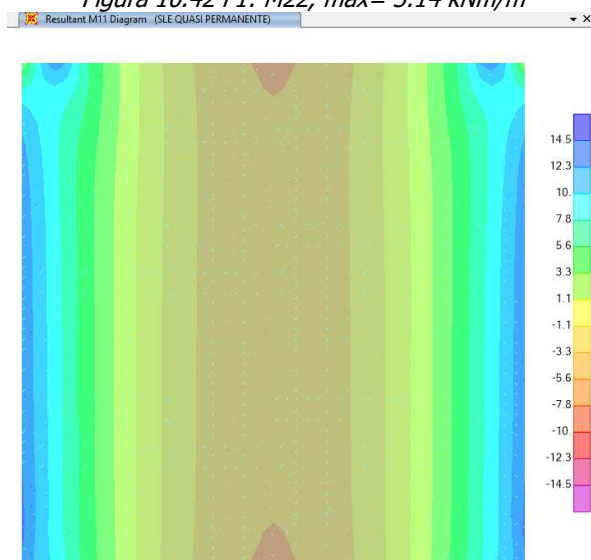


Figura 10.43 QP: M11, max= 15.02 kNm/m

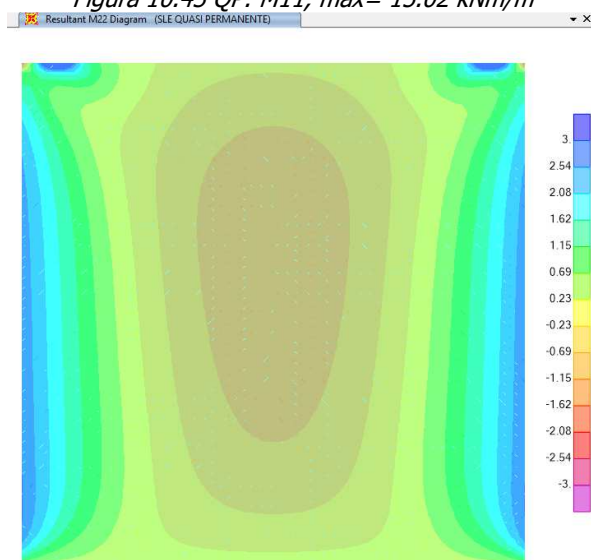


Figura 10.44 QP: M22, max= 3.05 kNm/m

10.4 Verifiche effettuate

10.4.1 Verifiche della platea di fondazione

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	19.28	0.00	55.84	0.00
RARA	14.17			
FREQ.	12.70			
Q. PERM.	12.63			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 5 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo

- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²

- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	96	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 55.84 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 100 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 96 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * p_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 274.94 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.46 \leq 2$$

$$p_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0013 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 10\,000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 340.29 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.354$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 274.94 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 55.84 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 19.28 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 100 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 96 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 437\,299 \quad x \quad - 37\,406\,944 = 0$$

$$x = 3.72 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -54.46 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	471.94	kNm	>	$M_{Ed} =$	19.28	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	14.17	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				16.09	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				1 385 451	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.16	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	12.26	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	12.63	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	16.09	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1 385 451	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 10.93 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00045 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00003$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 27.97 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 50.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.012	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	12.70	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	16.09	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1 385 451	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 10.99 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00045 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00003$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 27.97 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 50.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.012	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.15	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	10.93	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	59.42	0.00	93.53	0.00
RARA	44.28			
FREQ.	37.13			
Q. PERM.	37.10			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 5 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	96	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 93.53 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 18 \quad + \quad \Phi = 12.72 \quad \text{cm}^2$$

con: 2

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 100 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 96 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * p_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 274.94 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.46 \leq 2$$

$$p_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0013 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 10\,000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 340.29 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.354$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 274.94 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 93.53 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 59.42 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 18 & + & \Phi = & 12.72 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 100 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 96 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 437\,299 \quad x \quad - 37\,406\,944 = 0$$

$$x = 3.72 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -54.46 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	471.94	kNm	>	$M_{Ed} =$	59.42	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	44.28	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				16.09	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				1 385 451	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.51	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	38.31	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	37.10	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	25.45	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	16.09	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	1 385 451	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 32.10 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00035 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00009$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 27.97 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 50.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.035	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	37.13	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 18$	+	$\Phi =$	12.72	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	100	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	96	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 25.45 \quad \text{cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 16.09 \quad \text{cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 1\,385\,451 \quad \text{cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 32.12 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00035 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00009$$

$$K_t = 0.4$$

$$h_{c,eff\,1} = 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,2} = (h - x) / 3 = 27.97 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,3} = h / 2 = 50.00 \quad \text{cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff\,i}) * b = 1000.00 \quad \text{cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.013$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 37.65 \quad \text{cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.035 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.43 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 32.10 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

10.4.2 Verifiche delle pareti

10.4.2.1 PARETI LATERALI

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	40.93	0.00	42.13	160.84
RARA	29.19			
FREQ.	22.62			
Q. PERM.	22.37			

VERIFICA PARETE BLOCCO 5 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_C =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_C =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_C =$	3.25	MPa	
$E_C = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa	
$\gamma_S =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_S =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_S =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	61	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 42.13 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 65 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 61 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * p_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 167.45 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.57 \leq 2$$

$$p_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0009 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 6500 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 242.60 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.398$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 167.45 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 42.13 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 40.93 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 65 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 61 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	138.03	kNm	>	$M_{Ed} =$	40.93	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	29.19	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			8.94	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			255 778	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.02	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	89.12	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	22.37	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	8.94	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	255 778	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 68.30 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00076 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00020$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 18.69 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 32.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.68 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.097	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	22.62	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ12	+	Φ =	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ12	+	Φ =	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 11.31 \quad \text{cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 8.94 \quad \text{cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 255\,778 \quad \text{cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 69.06 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00075 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00020$$

$$k_t = 0.4$$

$$h_{c,eff\,1} = 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,2} = (h - x) / 3 = 18.69 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,3} = h / 2 = 32.50 \quad \text{cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff\,i}) * b = 1000.00 \quad \text{cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.006$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.68 \quad \text{cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.098 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.78 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 68.30 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	8.06	0.00	39.35	0.00
RARA	5.76			
FREQ.	4.56			
Q. PERM.	4.31			

VERIFICA PARETE BLOCCO 5 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	61	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 39.35 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

con: 2

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 65 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 61 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * p_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 148.28 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.57 \leq 2$$

$$p_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0006 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 6500 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 242.60 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.398$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 148.28 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 39.35 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$M_{Ed} = 8.06 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

dove:

$$A_{S,compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S,tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 65 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 61 \quad \text{cm}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 134\,969 \quad x \quad - 11\,545\,353 = 0$$

$$x = 2.35 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -518.39 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	98.39	kNm	>	$M_{Ed} =$	8.06	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	-------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	5.76	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				7.65	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				183 364	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.24	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	25.14	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	4.31	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	7.65	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	183 364	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 18.81 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00145 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00005$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 19.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 32.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.004 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 56.89 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.031	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	4.56	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	65	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	61	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	7.65	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	183 364	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 19.90 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00145 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00006$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 19.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 32.50 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.004 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 56.89 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.032	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.18	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	18.81	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

10.4.2.2 PARETE NORD

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	13.18	0.00	37.06	0.00
RARA	9.87			
FREQ.	9.29			
Q. PERM.	9.26			

VERIFICA MURO BLOCCO 5 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952	
$\beta_2 =$	0.41597	
$\epsilon_{c,2} =$	0.002	
$\epsilon_{cu} =$	0.0035	
$\epsilon_{uk} =$	0.075	
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186	
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675	

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	36	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 37.06 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 40 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 36 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 130.75 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.75 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0016 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 4000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 167.40 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.465$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 130.75 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 37.06 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 13.18 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 40 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 36 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	82.71	kNm	>	$M_{Ed} =$	13.18	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	9.87	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			6.71	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			83 463	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.79	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	51.95	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	9.26	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.71	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	83 463	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 48.74 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00085 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00014$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 11.10 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.68 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.069	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	9.29	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.71	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	83 463	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 48.90 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00085 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00014$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 11.10 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.68 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.069	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.74	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	48.74	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	2.63	0.00	7.71	0.00
RARA	1.98			
FREQ.	1.86			
Q. PERM.	1.85			

VERIFICA MURO BLOCCO 5 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	36	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 7.71 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \text{ cm}^2$$

con: $n = 2$

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 40 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 36 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 115.79 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.75 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0011 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 4000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 167.40 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.465$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 115.79 \text{ kN} > V_{Ed} = 7.71 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$M_{Ed} = 2.63 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

dove:

$$A_{S,compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S,tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 40 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 36 \quad \text{cm}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 134\,969 \quad x \quad - 11\,545\,353 = 0$$

$$x = 2.35 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -518.39 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	59.98	kNm	>	$M_{Ed} =$	2.63	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	-------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	1.98	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				5.79	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				60 418	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.19	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	14.85	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1.85	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.79	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			60 418	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 13.88 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00147 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00004$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 11.40 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.004 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 56.89 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.023	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	1.86	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	40	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	36	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.79	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	60 418	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 13.95 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00147 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00004$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 11.40 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 20.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.004 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 56.89 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.023	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.18	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	13.88	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

10.4.3 Verifiche della soletta di copertura

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	34.90	0.00	130.67	0.00
RARA	23.47			
FREQ.	3.14			
Q. PERM.	3.05			

VERIFICA SOLETTA DI COPERTURA BLOCCO 5 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952	
$\beta_2 =$	0.41597	
$\epsilon_{c,2} =$	0.002	
$\epsilon_{cu} =$	0.0035	
$\epsilon_{uk} =$	0.075	
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186	
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675	

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 130.67 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 26 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * p_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 137.13 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$p_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0039 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 134.84 \text{ kN} > V_{Ed} = 130.67 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 34.90 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 345\,521 \quad x \quad - 29\,556\,104 = 0$$

$$x = 3.41 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -125.99 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	99.96	kNm	>	$M_{Ed} =$	34.90	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	23.47	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			6.96	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			67 227	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.43	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	99.69	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	3.05	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	67 227	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 12.96 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00043 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00004$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.68 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 767.91 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 34.38 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.013	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	3.14	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.96	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	67 227	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 13.34 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00042 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00004$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.68 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 767.91 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 34.38 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.013	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.32	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	12.96	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	53.43	0.00	130.42	0.00
RARA	36.63			
FREQ.	15.49			
Q. PERM.	15.02			

VERIFICA SOLETTA DI COPERTURA BLOCCO 5 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 130.42 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 16 \quad + \quad \Phi = 10.05 \text{ cm}^2$$

con: 2

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 26 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * p_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 137.13 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$p_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0039 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 134.84 \text{ kN} > V_{Ed} = 130.42 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 53.43 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 16 & + & \Phi = & 10.05 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 345\,521 \quad x \quad - 29\,556\,104 = 0$$

$$x = 3.41 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -125.99 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	99.96	kNm	>	$M_{Ed} =$	53.43	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	36.63	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				6.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				67 227	cm ⁴

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	3.79	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	155.59	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	15.02	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 16$	+	$\Phi =$	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	67 227	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 63.80 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00018 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00018$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.68 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 767.91 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 34.38 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.063	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	15.49	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ16	+	Φ =	10.05	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	20.11	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.96	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	67 227	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 65.80 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00017 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00019$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.68 \quad \text{cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \quad \text{cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 767.91 \quad \text{cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.013 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 34.38 \quad \text{cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.065	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.56	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	63.80	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

11 Edificio servizi (Blocco 6)

11.1 Descrizione del blocco

L'edificio servizi, che ospiterà il locale utente, il locale Enel, il locale di misura e il locale trasformatore MT/BT, avrà dimensioni esterne in pianta pari a 11.50x5.60 m e sarà posizionato a fianco della camera di alloggiamento idrovore, lato campagna. I muri perimetrali avranno altezza netta pari a 3.20 m e spessore di 30 cm, mentre la soletta di copertura, sempre di spessore pari a 30 cm, verrà impermeabilizzata con doppia membrana bitume polimero (la prima armata con tessuto non tessuto di poliestere rinforzato con fibre di vetro e la seconda armata con tessuto di vetro e velo vetro, con rivestimento superiore in lamina di rame puro goffrato) posata, previa stesa di primer bituminoso, su un massetto in calcestruzzo per la formazione della pendenza verso il lato frontale. Due pluviali in rame DN 80 assicureranno il corretto smaltimento delle acque piovane (si veda TAV. 7.4).

Il fabbricato si completerà con la posa dei portoni di accesso e delle griglie di aerazione, in vetroresina e in acciaio zincato (si veda la vista di cui alla TAV. 7.4). I muri interni, così come le apparecchiature elettriche, saranno a carico del Consorzio di Bonifica di Piacenza.

I materiali impiegati per la realizzazione dell'opera sono descritti al Capitolo 5.3.

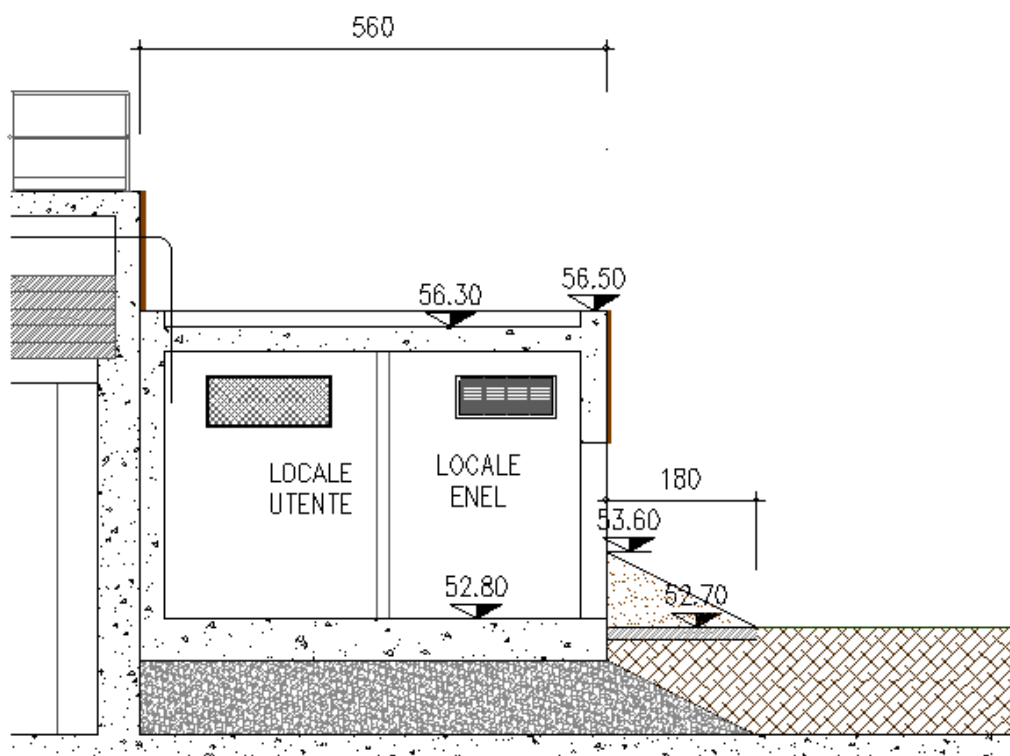


Figura 11.1 Edificio servizi (blocco 6) - Sezione longitudinale

11.2 Descrizione dei carichi e delle loro combinazioni

In accordo con la normativa vigente (NTC18, §2.6), le verifiche sono state condotte nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) e degli stati limite di esercizio (SLE), per garantire la stabilità e l'efficienza prestazionale delle opere in progetto.

Per le verifiche agli stati limite è stato applicato l'Approccio 2, con combinazione A1+M1+R3 (NTC18, §6.5.3). I valori dei coefficienti parziali adottati sono indicati nelle tabelle NTC18, Tabb. 6.2.I, 6.2.II, 6.5.I, riportate al Capitolo 6.2.

Oltre al peso proprio degli elementi strutturali, sono stati considerati i carichi di seguito elencati.

È stato preso in considerazione anche l'effetto del vento agente sulle pareti della struttura. Tuttavia le azioni indotte da questa forza sono state omesse nella modellazione, sia perché di entità trascurabile, sia perché è stato provato come sia favore di sicurezza; nello specifico, l'azione del vento si opporrebbe alla deformazione verso l'esterno delle pareti, data dal peso della soletta che su di esse poggia. Nella tabella sottostante sono riportate le azioni considerate e le combinazioni con le quali sono state applicate durante la modellazione del blocco, secondo quanto disposto dalla normativa (NTC, §2.5.2, §2.5.3 - Tab. 2.5.I, categoria E1)

Azioni	Coefficienti delle combinazioni						
	SLU FONDAMENTALE		SLE CARATTERISTICA (RARA)		SLE FREQUENTI	SLE QUASI.P.	SISMICA
	SLU FOND.1	SLU FOND.2	R1	R2	F	QP	SISMICA
Permanenti strutturali							
Elementi strutturali							
Peso proprio	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti non strutturali							
Macchinari e locali interni							
Peso proprio	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Variabili							
Persone su soletta							
Sovraccarico distribuito	1.50	1.50 · 0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Neve							
Sovraccarico distribuito	1.50 · 0.50	1.50	0.50	1.00	0.50	0.00	0.00
Sisma							
Elementi strutturali							
Forze inerziali	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Terreno e acqua							
Sovraspinta su pareti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabella 11.1 Edificio servizi (blocco 6) - Combinazioni e coefficienti parziali

11.2.1 Azioni dovute ai macchinari e ai locali interni

Il contributo allo stato di carico dato dai macchinari che verranno installati all'interno dei locali dell'edificio è stato considerato in ottemperanza di quanto disposto dalla normativa NTC18, Tab. 3.1.II, già riportata al Capitolo 6.2.3. Per il caso in questione è stata considerata la categoria d'uso E1.

- Sovraccarico distribuito (carico permanente non strutturale sfavorevole)
Con riferimento alla categoria d'uso dell'opera E1, il valore dei sovraccarichi risultanti dalla presenza dei macchinari e dei locali è considerata pari a:

$$p_{k_{soletta,2}} \cong 6.00 \text{ kPa}$$

11.2.2 Azioni dovute alle persone sulla soletta

Il contributo allo stato di carico dato dalle persone che possono accedere alla soletta di copertura è stato considerato in ottemperanza di quanto disposto dalla normativa NTC18, Tab. 3.1.II, già riportata al Capitolo 6.2.3. Per il caso in questione è stata considerata la categoria d'uso H.

- Sovraccarico distribuito (carico variabile sfavorevole)

Con riferimento alla categoria d'uso dell'opera H, il valore dei sovraccarichi risultanti dalla presenza di persone e mezzi sulla soletta è pari a:

$$p_{k_{soletta,2}} \cong 0.50 \text{ kPa}$$

11.2.3 Azioni dovute alla neve

La presenza della neve è stata considerata definendo il seguente carico distribuito, in accordo con la normativa (NTCC18, §3.4, estratti riportati al Capitolo 7.2.5 di questo elaborato):

- Peso della neve sulla soletta (carico variabile sfavorevole)

Considerando i valori dei coefficienti indicati dalla normativa e soprariportati, si ottiene:

$$q_s \cong q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t \cong 1.50 \cdot 0.80 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cong 1.20 \text{ kPa}$$

11.2.4 Azioni dovute a sisma agente sulla struttura

Le analisi sismiche, di cui al Capitolo 5.4, hanno permesso la stima dei coefficienti sismici, utili ora per la valutazione delle forze inerziali e delle sovraspinte agenti sulla struttura in caso di sisma.

- Forze inerziali degli elementi strutturali

Gli effetti del sisma sulle parti strutturali dell'opera sono simulati mediante l'applicazione di carichi gravitazionali, dati dal prodotto del peso di ogni elemento per il relativo coefficiente sismico. L'effetto dell'azione sismica è stato simulato attraverso l'involuppo delle azioni agenti nelle 4 direzioni planari (come da normativa NTC18, §7.3.5).

- Sovraspinta del terreno e dell'acqua sulle pareti

Le azioni agenti sulle pareti ricevono, in condizioni sismiche, un incremento dato dal valore caratteristico moltiplicato per il coefficiente sismico k_h .

11.3 Modellazione e risultati delle analisi

Applicando ai valori caratteristici ricavati nel Capitolo 11.2 i coefficienti delle diverse combinazioni riportati in Tabella 11.1, si ottengono i valori di progetto delle azioni con cui sono state eseguite le verifiche strutturali. Il comportamento del suolo, come specificato al Capitolo 4, è stato modellato considerando un comportamento cedevole, secondo il modulo di rigidezza di Winkler, in questo caso assunto pari a 20.00 kg/mc. Nei paragrafi che seguono vengono rappresentate le distribuzioni degli sforzi sulle diverse parti strutturali e nelle diverse combinazioni di carico; nelle didascalie vengono

indicati il caso più critico osservato e i valori massimi di progetto per ogni combinazione (SLU Fondamentale, SLE Caratteristica – Rara, SLE Frequenti, SLE Quasi Permanenti, Sismica) i quali saranno considerati al Capitolo 11.4 per le verifiche e i dimensionamenti. Cautelativamente, l'azione assiale è stata trascurata nelle verifiche a flessione degli elementi strutturali compressi.

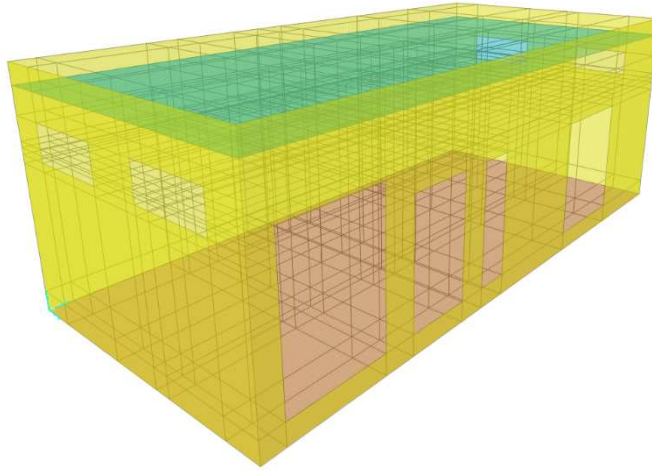


Figura 11.2 Modellazione edificio servizi (Blocco 6)

11.3.1 Platea di fondazione

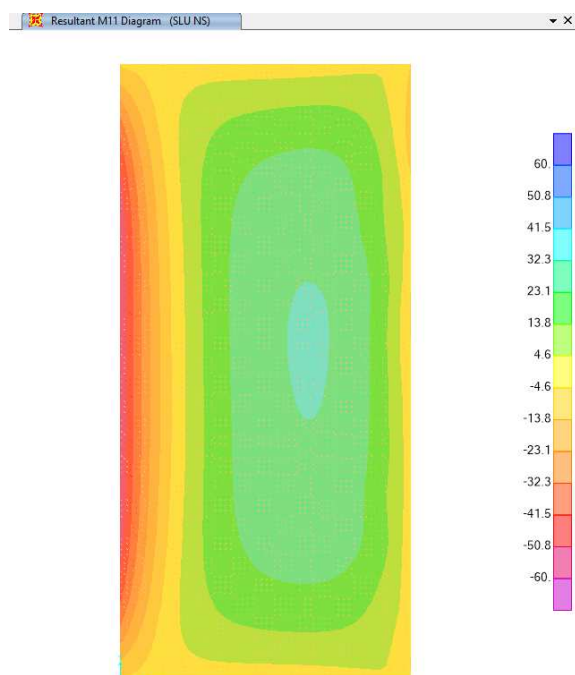


Figura 11.3 SLU FOND.1: M11, max= -60.38 kNm/m

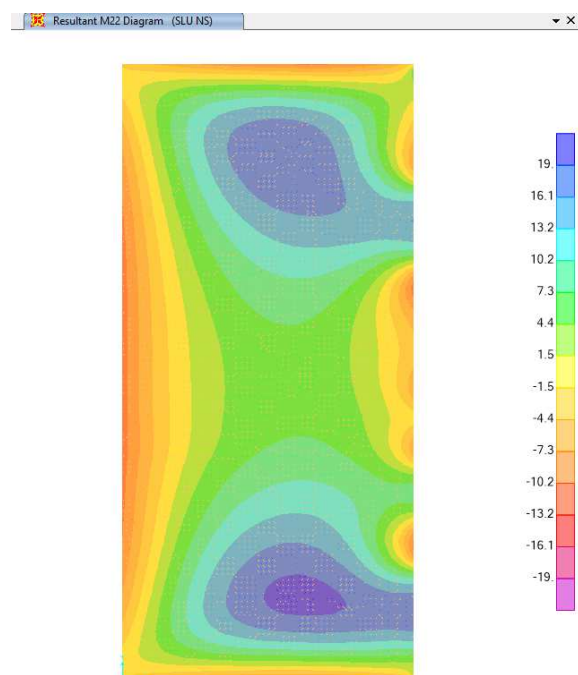


Figura 11.4 SLU FOND.1: M22, max= 19.92 kNm/m

Resultant V13 Diagram (SLU NS)

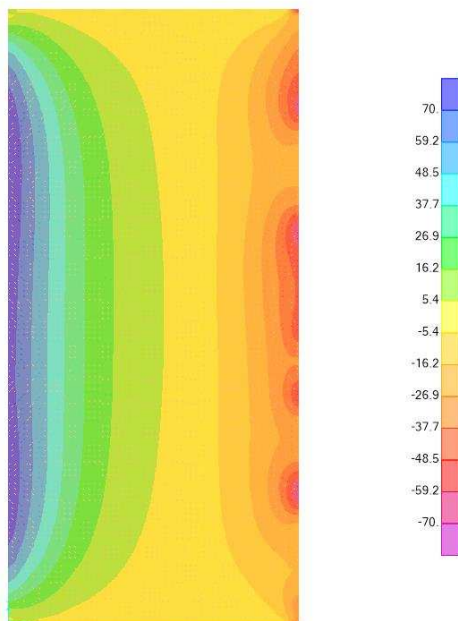


Figura 11.5 SLU FOND.1: V13, max= 80.16 kN/m

Resultant V23 Diagram (SLU NS)

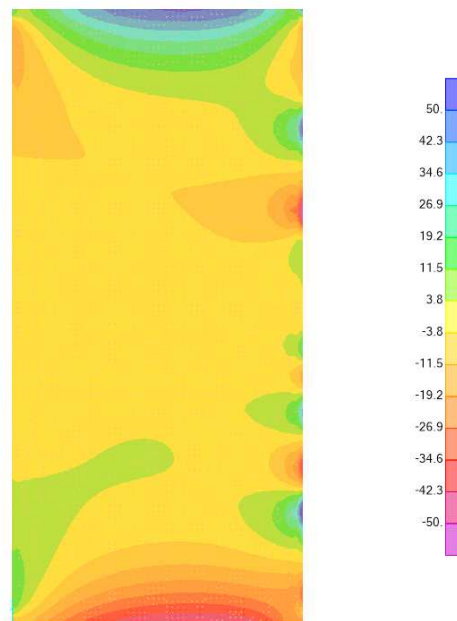


Figura 11.6 SLU. FOND1: V23, max= 50.91 kN/m

Deformed Shape (SLU NS)

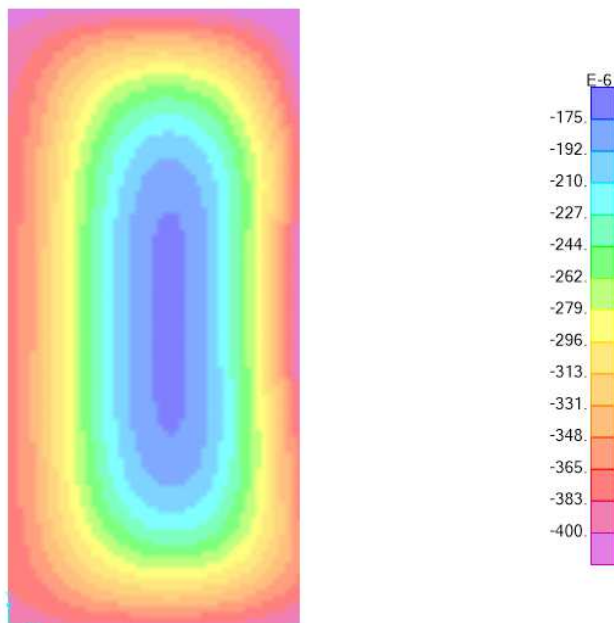


Figura 11.7 SLU FOND.1: Uz: max= -400E-6 m

Resultant M11 Diagram (SLE CARATTERISTICA NS)

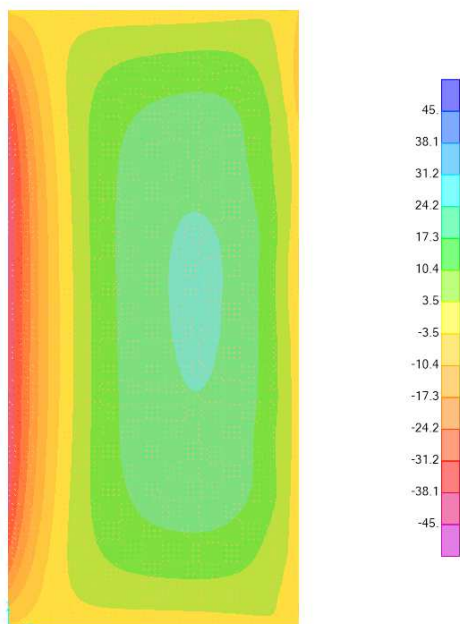


Figura 11.8 R1: M11, max= -46.12 kNm/m

Resultant M22 Diagram (SLE CARATTERISTICA NS)

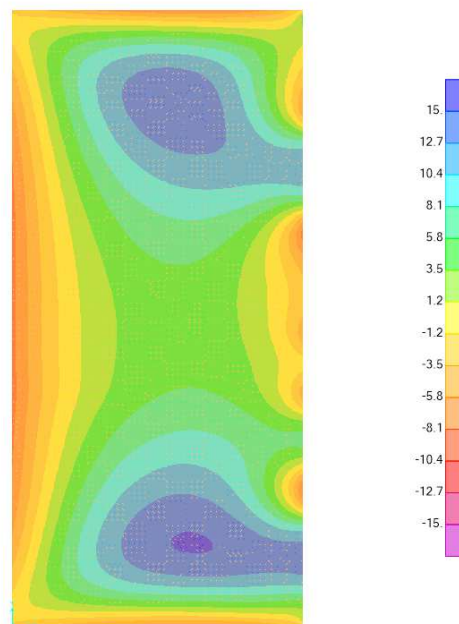


Figura 11.9 R1: M22, max= 10.21 kNm

Resultant M11 Diagram (SLE FREQUENTE NS)

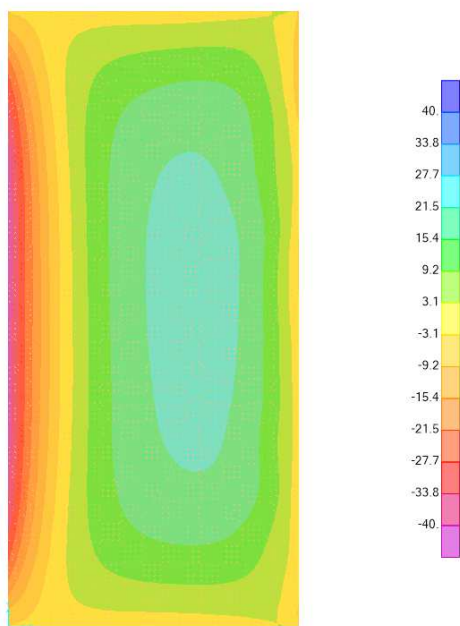


Figura 11.10 F1: M11, max= -45.07 kNm/m

Resultant M22 Diagram (SLE FREQUENTE NS)

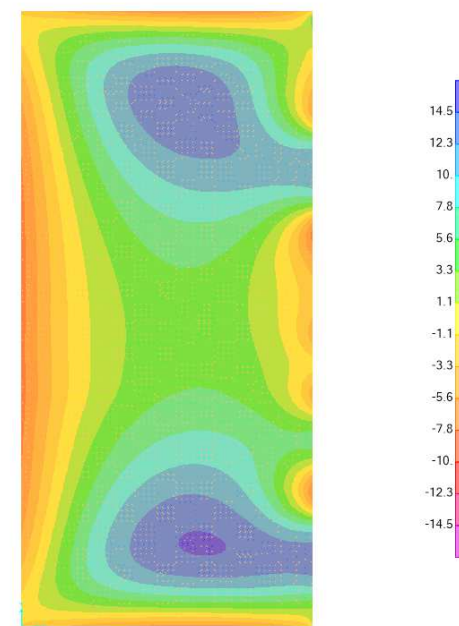


Figura 11.11 F1: M22, max= 14.75 kNm/m

Resultant M11 Diagram (SLE QUASI PERMANENTE)

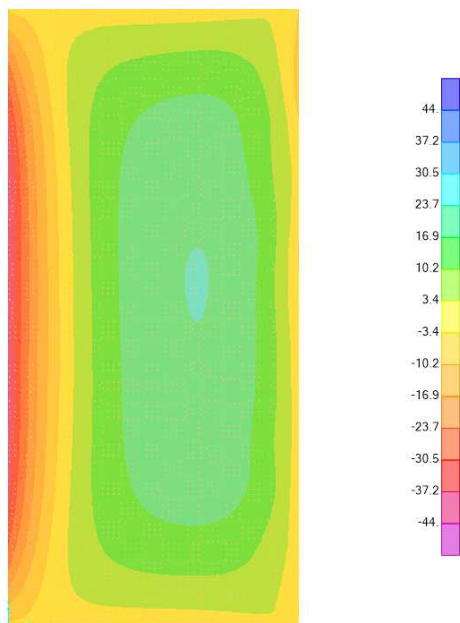


Figura 11.12 QP: M11, max= -43.88 kNm/m

Resultant M22 Diagram (SLE QUASI PERMANENTE)

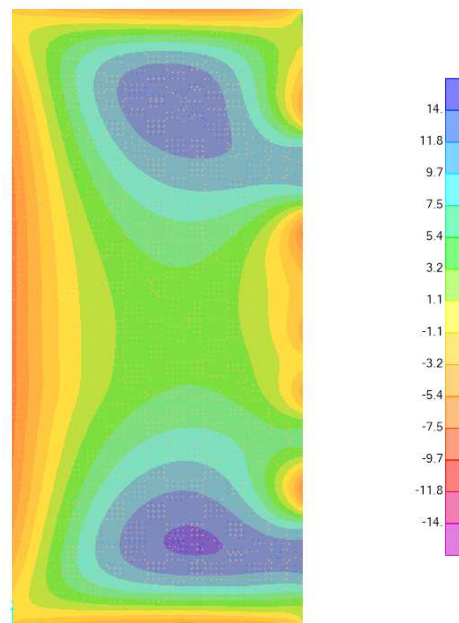


Figura 11.13 QP: M22, max= 14.33 kNm/m

11.3.2 Pareti

11.3.2.1 PARETE LATO LUNGO

Resultant M11 Diagram (SLU NS)

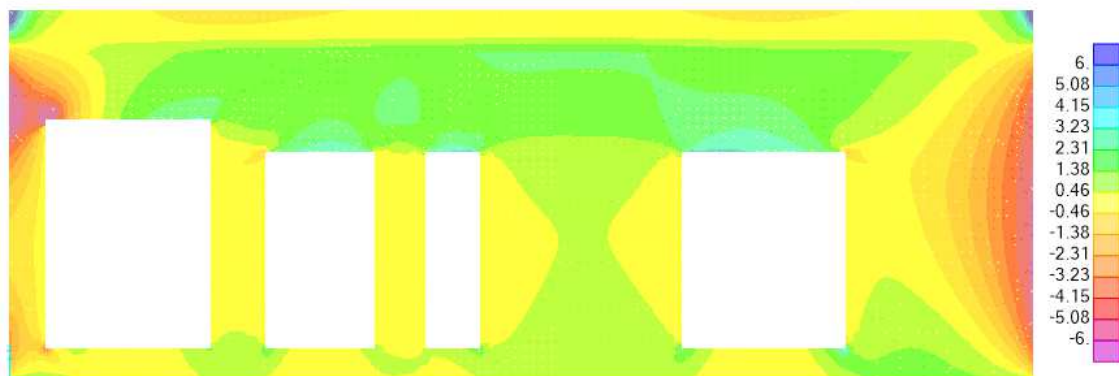


Figura 11.14 SLU FOND.1: M11, max= -6.28 kNm/m

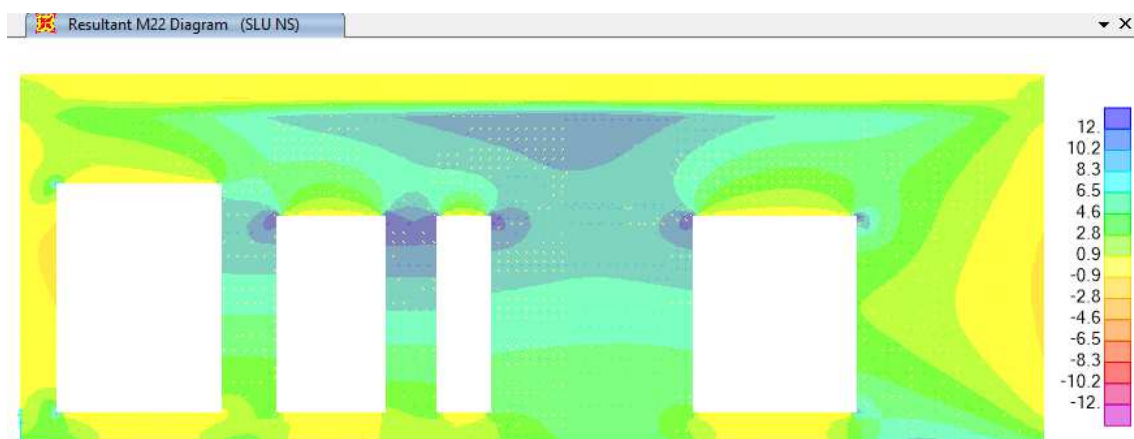


Figura 11.15 SLU FOND.1: M22, max= 12.65 kNm/m



Figura 11.16 SLU FOND.1: V13, max= -19.23 kN/m

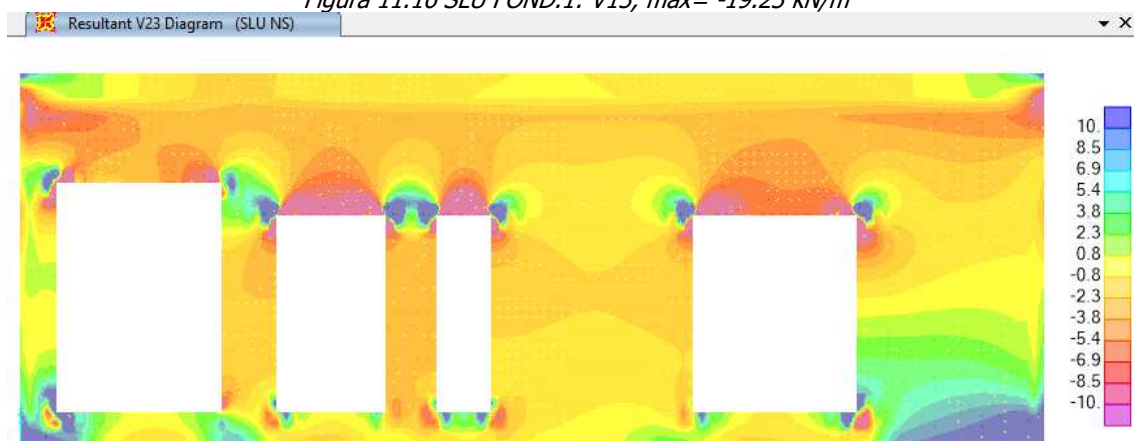


Figura 11.17 SLU FOND.1: V23, max= 20.02 kN/m

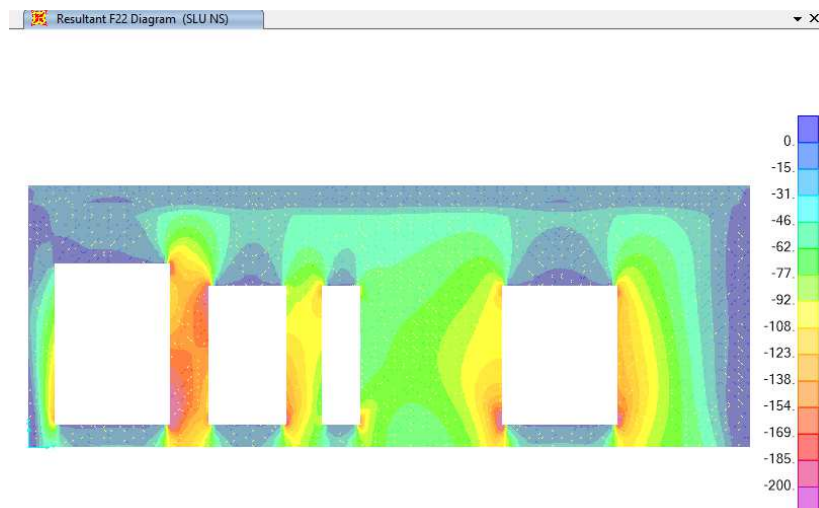


Figura 11.18 SLU FOND.1: F22, max= -190.2 kN/m

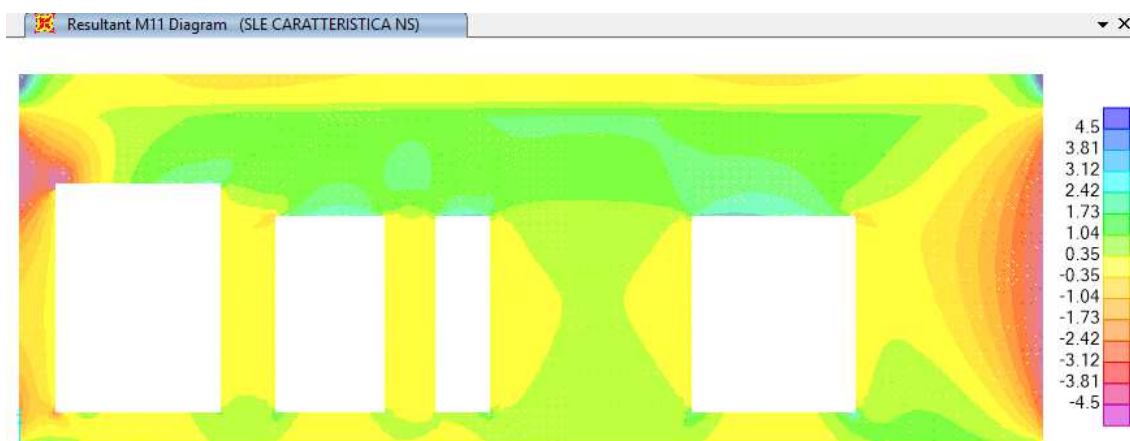


Figura 11.19 R1: M11, max= -4.91 kNm/m

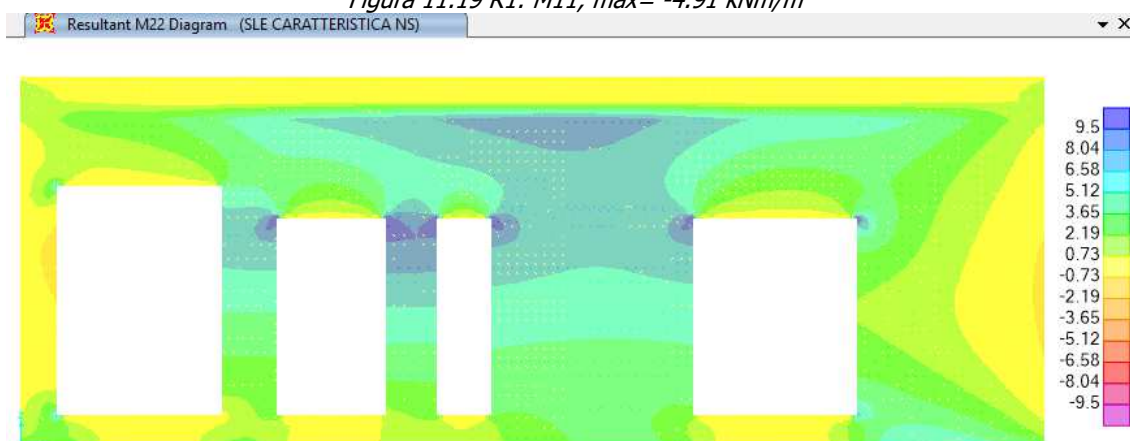


Figura 11.20 R1: M22, max= 9.50 kNm/m

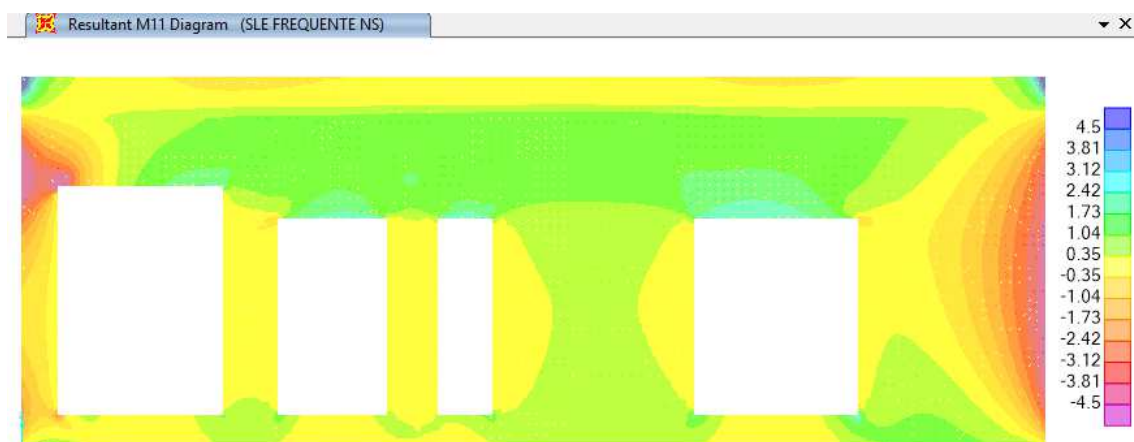


Figura 11.21 F1: M11, max= 4.86 kNm/m

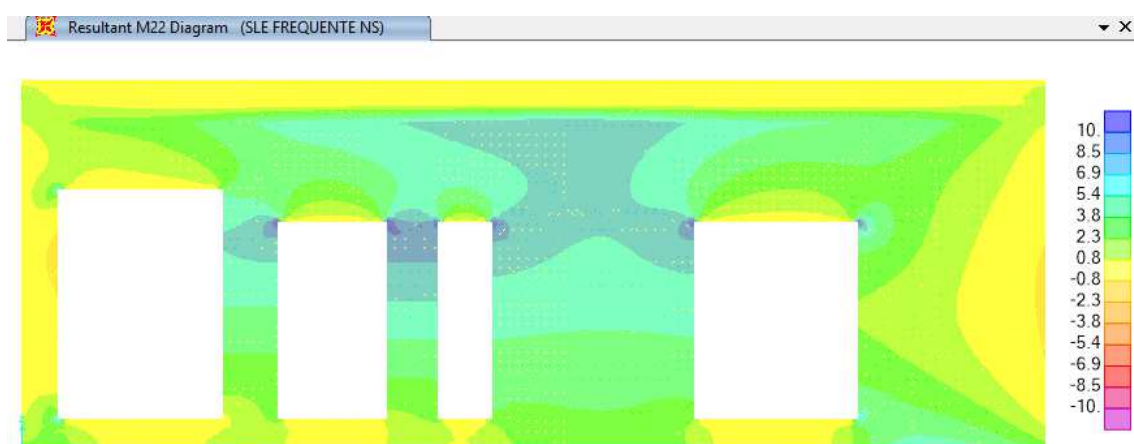


Figura 11.22 F1: M22, max= 9.23 kN/m

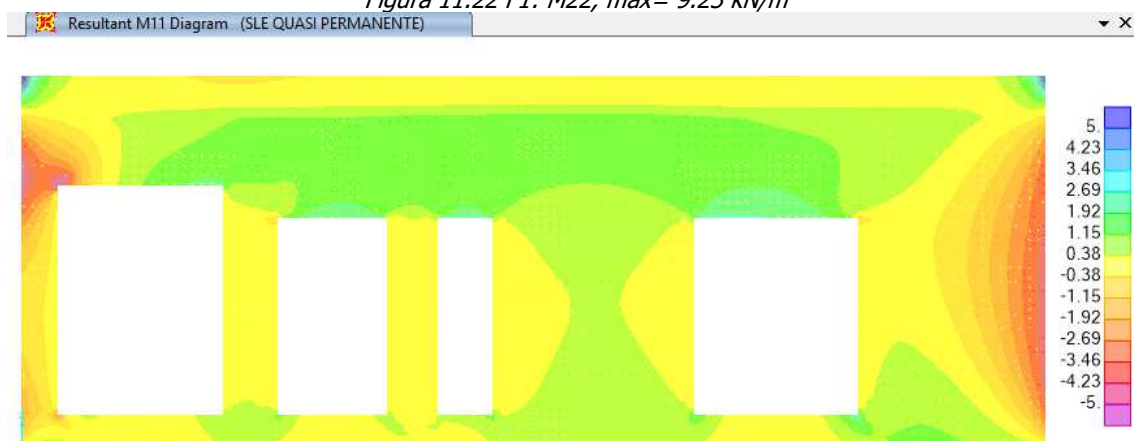


Figura 11.23 QP1: M11, max= -4.84 kNm/m

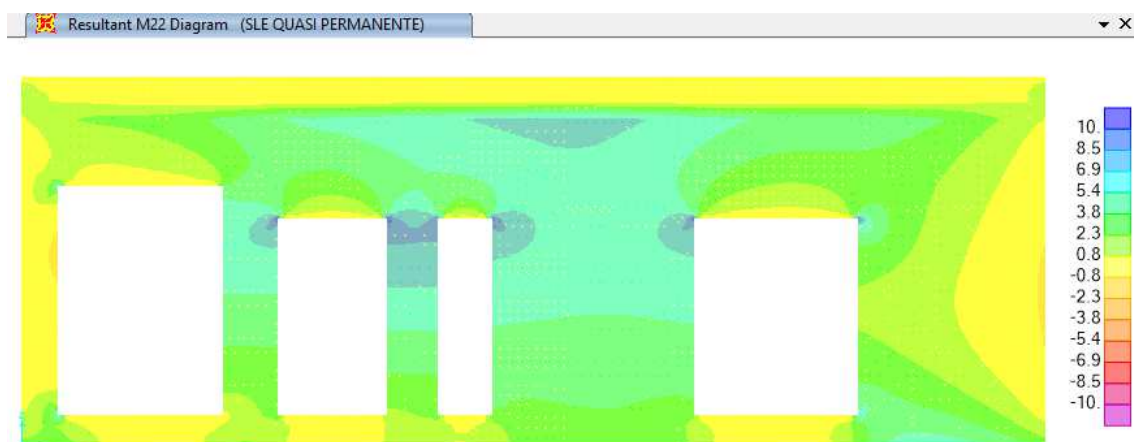


Figura 11.24 QP1: M22, max= 8.59 kNm/m

11.3.2.2 PARETE LATO CORTO

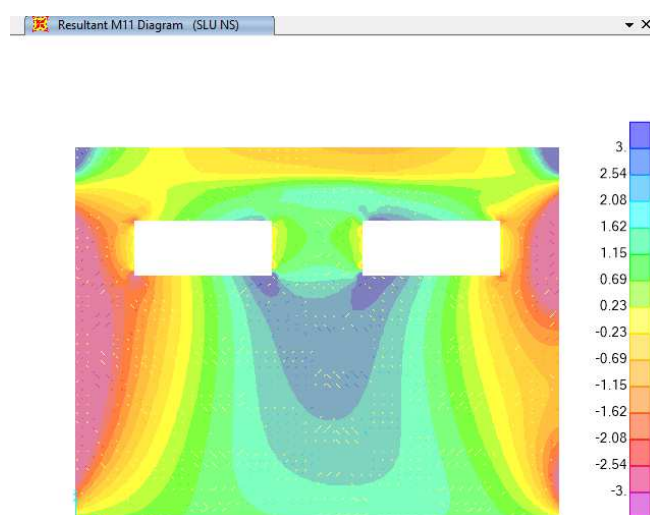


Figura 11.25 SLU FOND.1: M11, max= -7.89 kNm/m

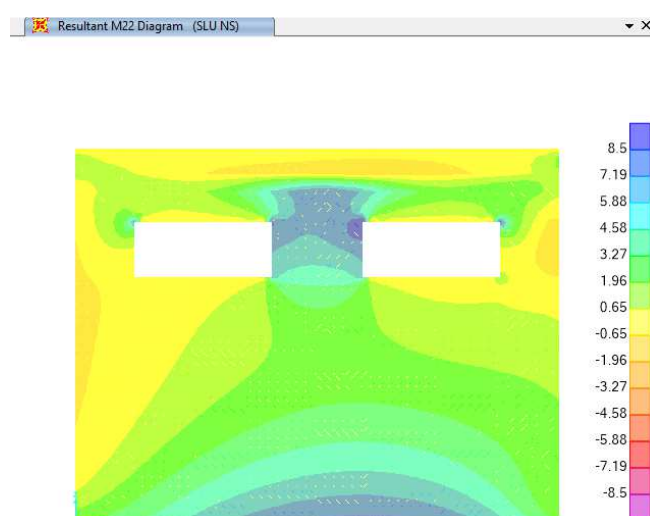


Figura 11.26 SLU FOND.1: M22, max= 8.75 kNm/m

Resultant V13 Diagram (SLU NS)

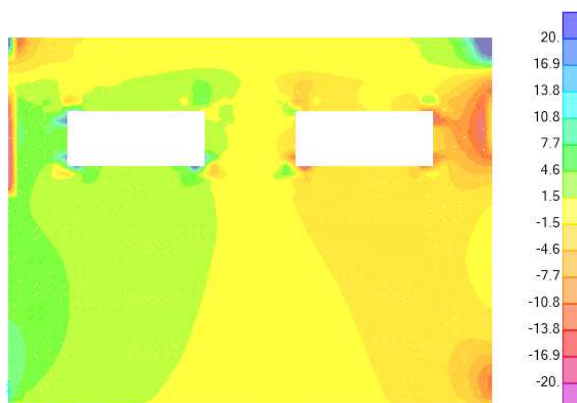


Figura 11.27 SLU FOND.1: V13, max= -15.02 kN/m

Resultant V23 Diagram (SLU NS)

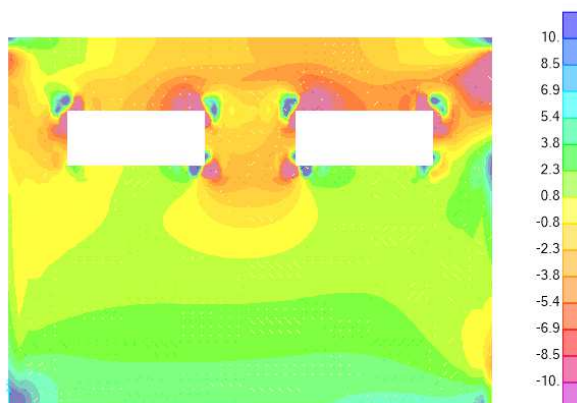


Figura 11.28 SLU FOND.1: V23, max= -18.93 kN/m

Resultant F22 Diagram (SLU NS)

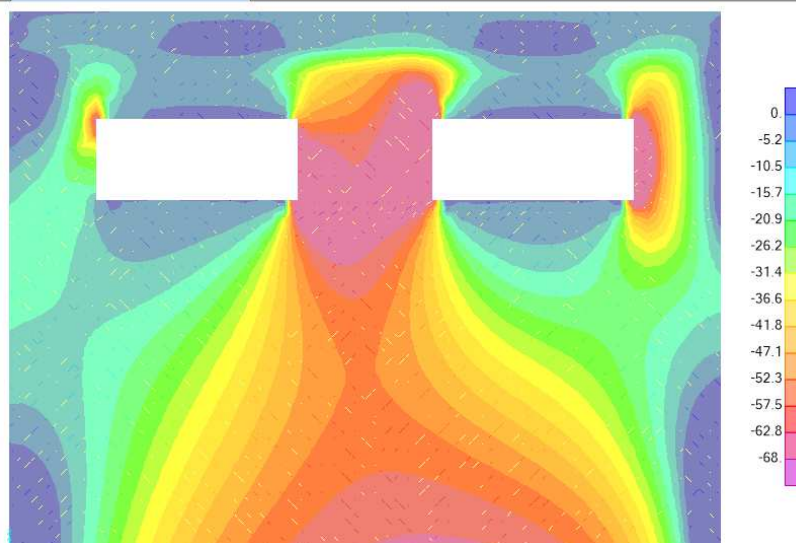


Figura 11.29 SLU FOND.1: F22, max= -69.68 kN/m

Resultant M11 Diagram (SLE CARATTERISTICA NS)

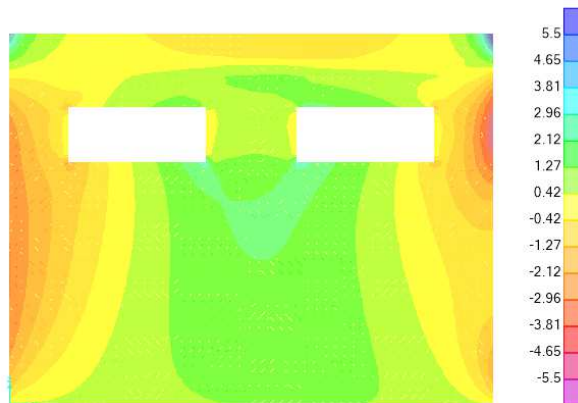


Figura 11.30 R1: M11, max= -5.98 kNm/m

Resultant M22 Diagram (SLE CARATTERISTICA NS)

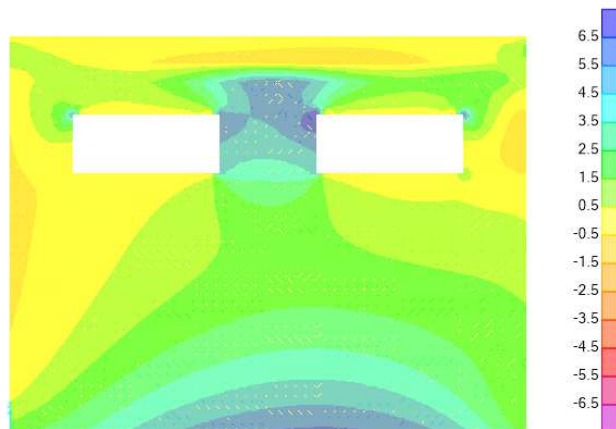


Figura 11.31 R1: M22, max= 6.70 kNm/m

Resultant M11 Diagram (SLE FREQUENTE NS)

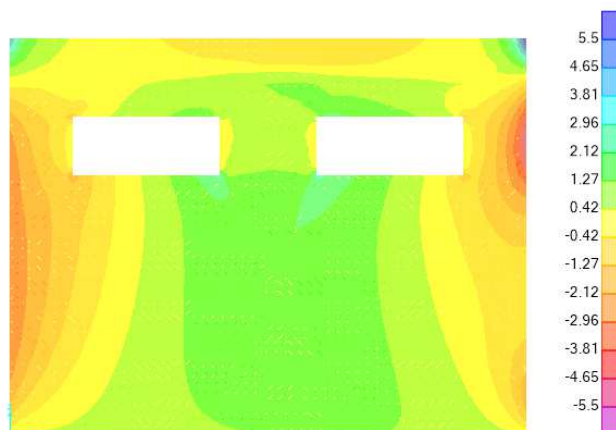


Figura 11.32 F1: M11, max= 5.4 kNm/m

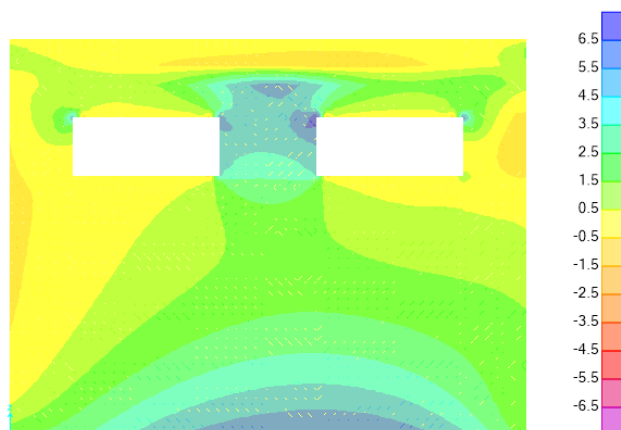


Figura 11.33 F1: M22, max= 6.62 kNm/m

Resultant M11 Diagram (SLE QUASI PERMANENTE) X

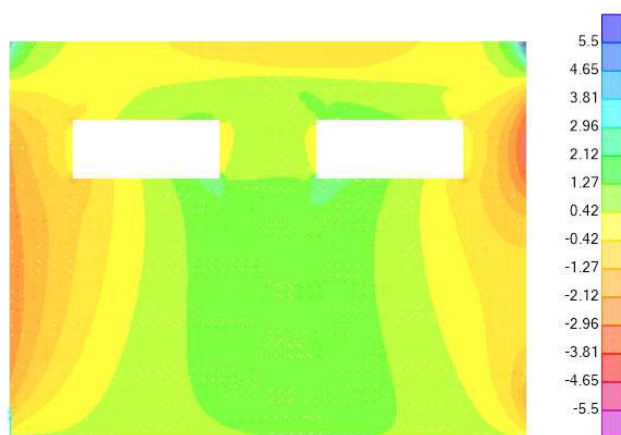


Figura 11.34 QP1: M11, max= -5.39 kNm/m

Resultant M22 Diagram (SLE QUASI PERMANENTE) X

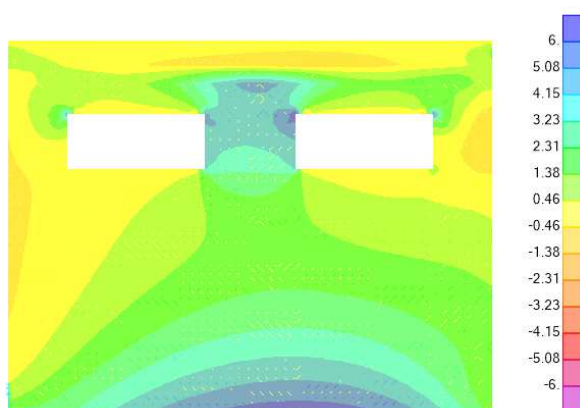


Figura 11.35 QP1: M22, max= 6.53 kNm/m

11.3.3 Soletta di copertura

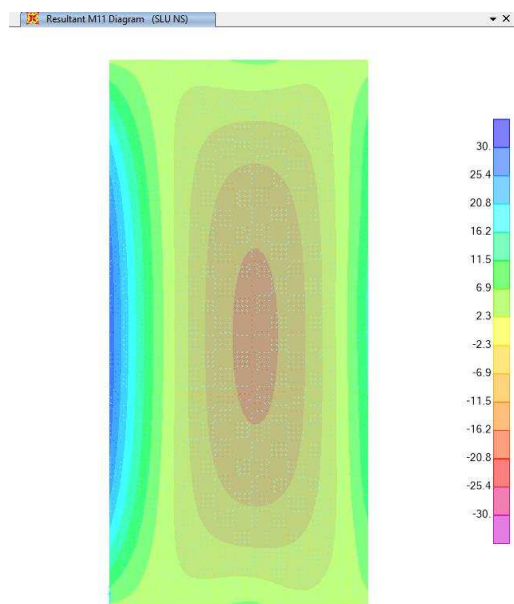


Figura 11.36 SLU FOND.1: M_{11} , max= 33.91 kNm/m

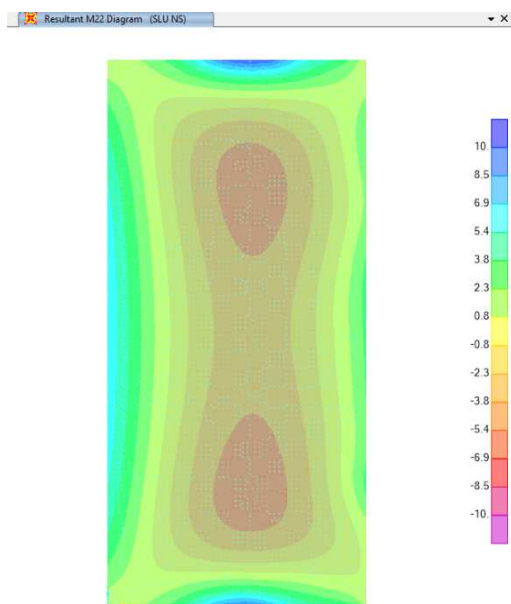


Figura 11.37 SLU FOND.2: M_{22} , max= 11.93

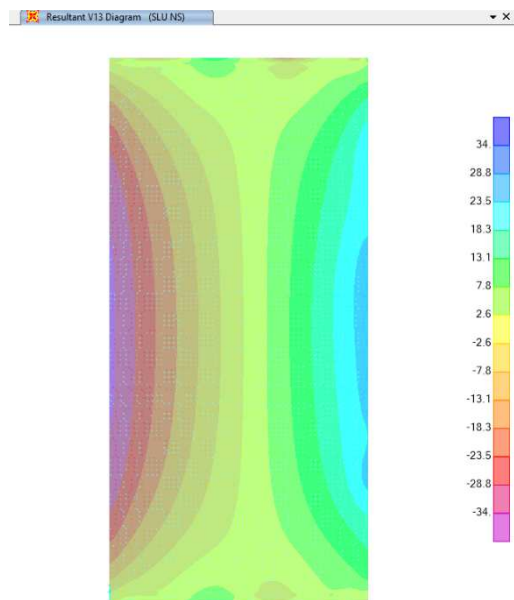


Figura 11.38 SLU FOND.1: V_{13} , max= -34.89 kN/m

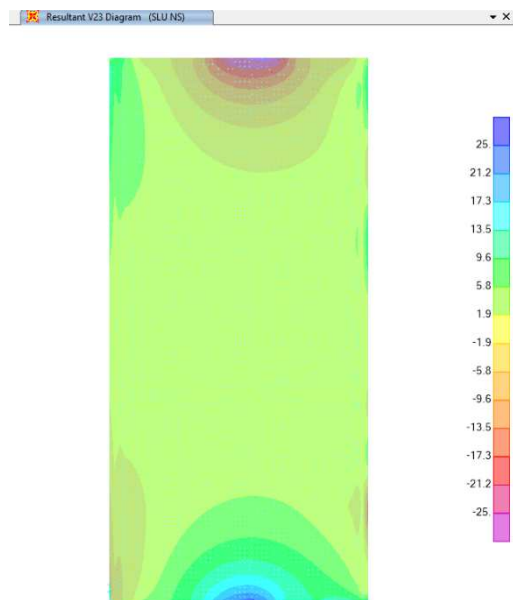


Figura 11.39 SLU FOND.1: V_{23} , max= 27.99 kN/m

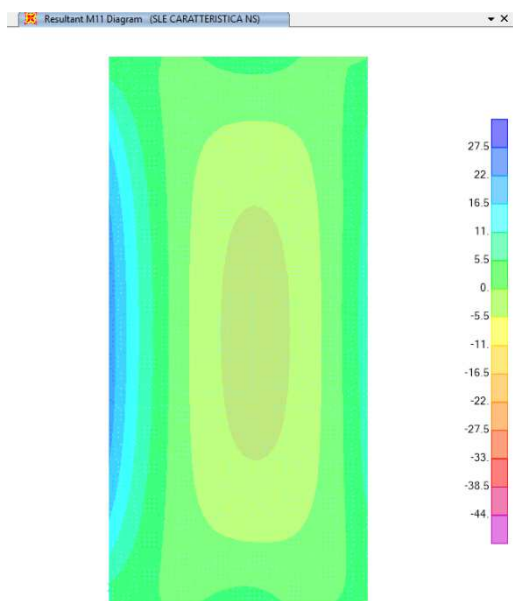


Figura 11.40 R1: M11, max= 25.56 kNm/m

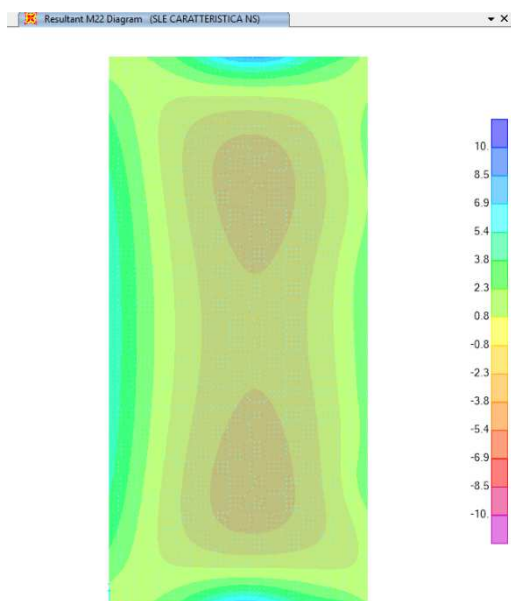


Figura 11.41 R1: M22, max= 8.95 kNm/m

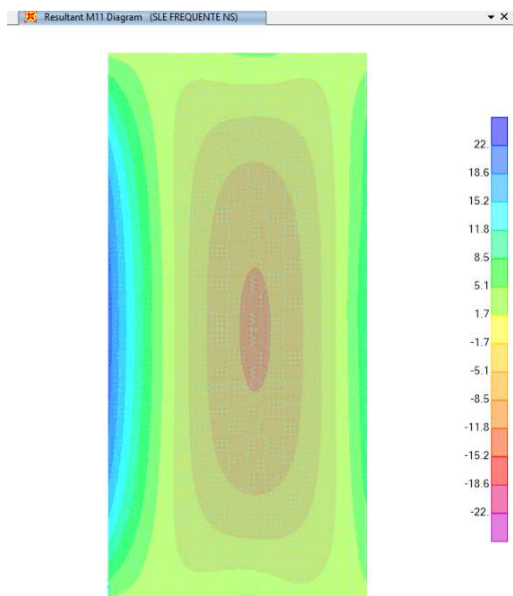


Figura 11.42 F1: M11, max= 23.91 kNm/m

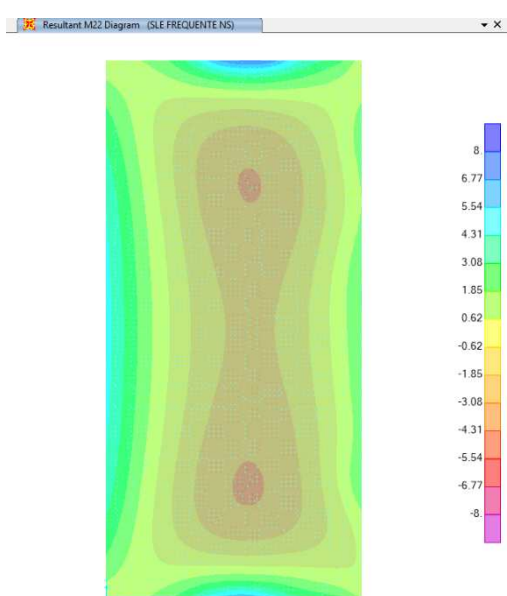


Figura 11.43 F1: M22: max= 8.16 kNm/m

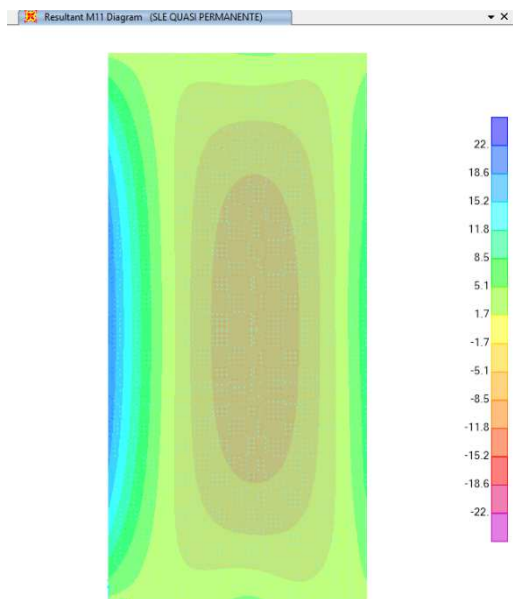


Figura 11.44 QP: M11, max= 22.18 kNm/m

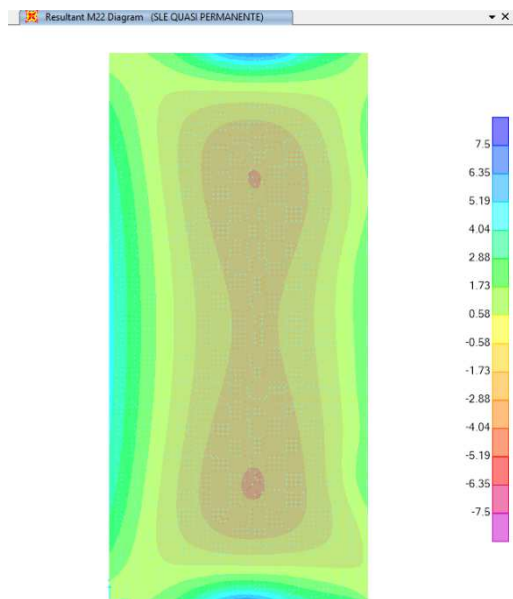


Figura 11.45 QP: M22, max= 7.53 kNm/m

11.4 Verifiche effettuate

11.4.1 Verifiche della platea di fondazione

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	19.92	0.00	50.91	0.00
RARA	15.20			
FREQ.	14.75			
Q. PERM.	14.33			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 6 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo

- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²

- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	46	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 50.91 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 50 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 46 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 146.38 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.66 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0012 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 5000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 198.30 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.431$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 146.38 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 50.91 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 19.92 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 50 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 46 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	104.84	kNm	>	$M_{Ed} =$	19.92	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	15.20	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			7.67	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			140 804	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.83	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	62.07	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	14.33	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	7.67	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	140 804	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 58.52 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00080 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00017$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 14.11 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.68 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.083	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	14.75	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	7.67	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	140 804	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 60.23 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00079 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00017$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 14.11 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.006 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.68 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.085 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.78 \text{ MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 58.52 \text{ MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	60.38	0.00	80.16	0.00
RARA	46.12			
FREQ.	45.07			
Q. PERM.	43.88			

VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE BLOCCO 6 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	46	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 80.16 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

con: 2

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 50 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 46 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 162.22 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.66 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0017 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 5000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 198.30 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.431$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 162.22 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 80.16 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$M_{Ed} = 60.38 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

dove:

$$A_{S,compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S,tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 50 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 46 \quad \text{cm}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

dove: $\sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	139.26	kNm	>	$M_{Ed} =$	60.38	kNm
------------	---------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	46.12	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			8.68	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			185 129	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.16	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	139.45	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	43.88	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	8.68	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	185 129	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 132.68 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00017 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00038$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 13.77 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.008 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.169	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	45.07	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ 14	+	Φ =	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ 14	+	Φ =	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	50	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	46	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	8.68	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	185 129	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 136.28 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00015 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00039$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 13.77 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 25.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 1000.00 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.008 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 44.52 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.173	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	--------------	----	--------	---------------	--------------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	2.06	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	-------------	-----	-----	-------------------	--------------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	132.68	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	---------------	-----	-----	------------------	---------------	-----

11.4.2 Verifiche delle pareti

11.4.2.1 PARETE LATO LUNGO

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	12.65	0.00	20.02	190.32
RARA	9.50			
FREQ.	9.23			
Q. PERM.	8.59			

VERIFICA PARETE (LATO CORTO) BLOCCO 6 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 20.02 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 20.02 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 12.65 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	12.65	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	9.50	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.29	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	70.14	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	8.59	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 63.42 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00058 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00018$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.078	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	9.23	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 11.31 \quad \text{cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 5.64 \quad \text{cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 41\,370 \quad \text{cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 68.15 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00056 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00019$$

$$K_t = 0.4$$

$$h_{c,eff\,1} = 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,2} = (h - x) / 3 = 8.12 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,3} = h / 2 = 15.00 \quad \text{cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff\,i}) * b = 812.12 \quad \text{cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.007$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \quad \text{cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.084 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 1.17 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 63.42 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	6.28	0.00	19.23	0.00
RARA	4.91			
FREQ.	4.86			
Q. PERM.	4.84			

VERIFICA PARETE (LATO CORTO) BLOCCO 6 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 19.23 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 100.24 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0015 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 100.24 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 19.23 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 6.28 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 10 & + & \Phi = & 3.93 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 10 & + & \Phi = & 3.93 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 134\,969 \quad x \quad - 11\,545\,353 = 0$$

$$x = 2.35 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -518.39 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	44.61	kNm	>	$M_{Ed} =$	6.28	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	-------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	4.91	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	4.88	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	30 194	cm ⁴			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.79	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	51.51	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	4.84	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm		$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm		$d =$	26	cm
$n =$	15					

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00					
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²				
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$				4.88	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$				30 194	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 50.78 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00105 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00015$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.37 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 837.25 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.005 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.84 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.072	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	4.86	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	4.88	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	30 194	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 50.99 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00105 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00015$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.37 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 837.25 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.005 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.84 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.073 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.78 \text{ MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 50.78 \text{ MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

11.4.2.2 PARETE LATO CORTO

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	8.75	0.00	18.93	69.68
RARA	6.70			
FREQ.	6.62			
Q. PERM.	6.53			

VERIFICA PARETE (LATO CORTO) BLOCCO 6 - ARMATURA VERTICALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952	
$\beta_2 =$	0.41597	
$\epsilon_{c,2} =$	0.002	
$\epsilon_{cu} =$	0.0035	
$\epsilon_{uk} =$	0.075	
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186	
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675	

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 18.93 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 18.93 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$M_{Ed} = 8.75 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

dove:

$$A_{S,compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S,tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	8.75	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	-------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	6.70	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.91	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	49.47	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	6.53	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$	5.64	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 48.21 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00065 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00014$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.059	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	6.62	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} = 1.00$$

$$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} = 11.31 \quad \text{cm}^2$$

$$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] = 5.64 \quad \text{cm}$$

$$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 = 41\,370 \quad \text{cm}^4$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 48.88 \quad \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00065 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00014$$

$$K_t = 0.4$$

$$h_{c,eff\,1} = 2.5 * (h - d) = 10.00 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,2} = (h - x) / 3 = 8.12 \quad \text{cm}$$

$$h_{c,eff\,3} = h / 2 = 15.00 \quad \text{cm}$$

$$A_{c,eff} = \min(h_{c,eff\,i}) * b = 812.12 \quad \text{cm}^2$$

$$\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 0.007$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$$

$$\Delta_{smax} = k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \quad \text{cm}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.060 \quad \text{mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \quad \text{mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.89 \quad \text{MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 48.21 \quad \text{MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \quad \text{MPa}$$

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	7.89	0.00	15.02	0.00
RARA	5.98			
FREQ.	5.74			
Q. PERM.	5.39			

VERIFICA PARETE (LATO CORTO) BLOCCO 6 - ARMATURA ORIZZONTALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 15.02 \quad \text{kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 100.24 \quad \text{kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0015 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \quad \text{MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \quad \text{cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \quad \text{kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 100.24 \quad \text{kN} > V_{Ed} = 15.02 \quad \text{kN}$$

Verifica a flessione

$$M_{Ed} = 7.89 \quad \text{kNm}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \quad \text{kN}$$

dove:

$$A_{S,compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

$$A_{S,tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 10 \quad + \quad \Phi = 3.93 \quad \text{cm}^2$$

con:

$$b = 100 \quad \text{cm} \quad h = 30 \quad \text{cm}$$

$$d' = 4 \quad \text{cm} \quad d = 26 \quad \text{cm}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 134\,969 \quad x \quad - 11\,545\,353 = 0$$

$$x = 2.35 \quad \text{cm} \quad < \quad x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -518.39 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	44.61	kNm	>	$M_{Ed} =$	7.89	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	-------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	5.98	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	4.88	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	30 194	cm ⁴			

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	0.97	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	62.74	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	5.39	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma)]^{0.5} =$			4.88	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			30 194	cm ⁴	

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 56.55 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00103 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00016$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.37 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 837.25 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.005 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.84 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.081	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	5.74	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 10$	+	$\Phi =$	3.93	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	7.85	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	4.88	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	30 194	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 60.22 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00101 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00017$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.37 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 837.25 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.005 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 49.84 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.086 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 0.87 \text{ MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 56.55 \text{ MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

11.4.3 Verifiche della soletta di copertura

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	11.93	0.00	27.99	0.00
RARA	8.95			
FREQ.	8.16			
Q. PERM.	7.53			

VERIFICA SOLETTA DI COPERTURA BLOCCO 6 - ARMATURA LONGITUDINALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 27.99 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 12 \quad + \quad \Phi = 5.65 \text{ cm}^2$$

con:

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 26 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 113.20 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0022 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 113.20 \text{ kN} > V_{Ed} = 27.99 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 11.93 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 12 & + & \Phi = & 5.65 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 194\,355 \quad x \quad - 16\,625\,308 = 0$$

$$x = 2.73 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -343.12 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	60.58	kNm	>	$M_{Ed} =$	11.93	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	8.95	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			5.64	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			41 370	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.22	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	66.08	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	7.53	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 55.60 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00062 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00016$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.068	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	8.16	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 12$	+	$\Phi =$	5.65	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	11.31	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	5.64	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	41 370	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 60.25 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00060 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00017$$

$$\begin{aligned} K_t &= 0.4 \\ h_{c,eff 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff 2} &= (h - x) / 3 = 8.12 \text{ cm} \\ h_{c,eff 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff i}) * b = 812.12 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.007 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 42.90 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} =$	0.074	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.300	mm
--	-------	----	--------	---------------	-------	----

Verifica tensioni in esercizio

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	1.03	MPa	$<$	$0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa
--------------------------------------	------	-----	-----	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	55.60	MPa	$<$	$0.8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	-------	-----	-----	------------------	--------	-----

	M_{ED} [kNm/m]	N^*_{ED} [kN/m]	T_{ED} [kN/m]	N_{ED} [kN/m]
SLU	33.91	0.00	34.89	0.00
RARA	25.56			
FREQ.	23.91			
Q. PERM.	22.18			

VERIFICA SOLETTA DI COPERTURA BLOCCO 6 - ARMATURA TRASVERSALE

Caratteristiche dei materiali

- Cls $R_{ck} \geq 40$ MPa

$R_{ck} =$	40.00	MPa	
$f_{ck} = 0,83 * R_{ck} =$	33.20	MPa	
$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$	18.81	MPa	
$\alpha_{cc} =$	0.85		coefficiente riduttivo per le azioni di lunga durata
$\gamma_c =$	1.5		coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa	
$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} =$	3.10	MPa	
$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} =$	2.17	MPa	
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.45	MPa	
$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk} / \gamma_c =$	3.25	MPa	
$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	33 643	MPa	

- Acciaio B450C

$f_{yk} =$	450.00	MPa	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391.30	MPa	
$\gamma_s =$	1.15		coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$E_s =$	210 000	MPa	

Deformazioni limite cls e acciaio

Questo schema è valido per:

- un diagramma sforzi deformazioni del cls del tipo parabola-rettangolo
- per $f_{ck} \leq 50$ N/mm²
- un asse neutro reale dove $x < h$

$\beta_1 =$	0.80952
$\beta_2 =$	0.41597
$\epsilon_{c,2} =$	0.002
$\epsilon_{cu} =$	0.0035
$\epsilon_{uk} =$	0.075
$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s =$	0.00186
$\epsilon_{ud} = 0,9 * \epsilon_{uk} =$	0.0675

Caratteristiche geometriche della sezione di cls

$b =$	100	cm
$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm
$d =$	26	cm

VERIFICA STATO LIMITE ULTIMO

Si sono condotte la verifica al taglio e alla flessione

Verifica a taglio

Elemento senza armature trasversali resistenti a taglio

$$V_{Ed, base} = 34.89 \text{ kN}$$

$$A_{S, compr} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \text{ cm}^2$$

$$A_{S, tesa} = \text{passo 20} \quad \Phi 14 \quad + \quad \Phi = 7.70 \text{ cm}^2$$

con: 2

$$b_w = b = 100 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 4 \text{ cm} \quad d = 26 \text{ cm}$$

$$V_{Rd1} = [0.18 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}] * b_w * d = 125.45 \text{ kN}$$

con:

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1.88 \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{SI} / (b_w * d) = 0.0030 \leq 0.02$$

A_{SI} = armatura longitudinale tesa

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd} = 3.76 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 0.00 \text{ kN}$$

$$A_c = b * h = 3000 \text{ cm}^2$$

N_{Ed} = forza longitudinale di compressione nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione

$$V_{Rd2} = (v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d = 134.84 \text{ kN}$$

con

$$v_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0.519$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2}) = 125.45 \text{ kN} > V_{Ed} = 34.89 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= 33.91 & \text{kNm} \\ N_{Ed} &= 0.00 & \text{kN} \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} A_{S,compr} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \\ A_{S,tesa} &= \text{passo 20} & \Phi 14 & + & \Phi = & 7.70 & \text{cm}^2 \end{aligned}$$

con:

$$\begin{aligned} b &= 100 & \text{cm} & & h &= 30 & \text{cm} \\ d' &= 4 & \text{cm} & & d &= 26 & \text{cm} \end{aligned}$$

$$x_1 = [\epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd})] * d' = 8.6 \quad \text{cm}$$

- Ipotesi $x < x_1$:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\sigma'_s < f_{yd}$$

armatura compressa in campo elastico

$$\sigma_s = f_{yd} = 391.30 \quad \text{MPa}$$

armatura tesa alla tensione f_{yd}

$$N_{Rd1} = \beta_1 * b * x_1 * f_{cd} + (A_{S,compr} - A_{S,tesa}) * f_{yd} = 1\,303 \quad \text{kN}$$

- Calcolo del momento resistente per $N_{Rd} < N_{Rd1}$ (ovvero $x < x_1$)

$$\beta_1 * b * x * f_{cd} + \sigma'_s * A_{S,compr} = A_{S,tesa} * f_{yd} + N_{Ed}$$

$$\text{dove: } \sigma'_s = E_s * \epsilon'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x)$$

$$\beta_1 * f_{cd} * b * x^2 - (N_{Ed} - \epsilon_{cu} * E_s * A_{S,compr} + f_{yd} * A_{S,tesa}) * x - \epsilon_{cu} * E_s * d' * A_{S,compr} = 0$$

$$15\,230 \quad x^2 \quad + \quad 264\,539 \quad x \quad - 22\,628\,892 = 0$$

$$x = 3.08 \quad \text{cm} < x_1 = 8.55 \quad \text{cm}$$

$$\sigma'_s = E_s * \epsilon_{cu} * (1 - d' / x) = -218.68 \quad \text{MPa}$$

$$M_{Rd} = A_{S,tesa} * f_{yd} * (h / 2 - d') + A_{S,compr} * \sigma'_s * (h / 2 - d') + \beta_1 * x * b * f_{cd} * (h / 2 - \beta_2 * x) =$$

$M_{Rd} =$	79.02	kNm	>	$M_{Ed} =$	33.91	kNm
------------	--------------	-----	---	------------	--------------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione rara

Si sono condotte la verifica delle tensioni di esercizio e della limitazione delle deformazioni

Verifica tensioni in esercizio

$M_{Ed} =$	25.56	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d') / (1 + \gamma))^{0.5}] =$			6.33	cm	
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$			53 751	cm ⁴	

$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} =$	3.01	MPa	<	$0,60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
--------------------------------------	------	-----	---	-------------------	-------	-----

$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} =$	140.32	MPa	<	$0,8 * f_{yk} =$	360.00	MPa
--	--------	-----	---	------------------	--------	-----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione quasi permanente

Si sono condotte la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	22.18	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	$\Phi 14$	+	$\Phi =$	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00	
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.33	cm
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	53 751	cm ⁴

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 121.76 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00006 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00035$$

$$\begin{aligned} k_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min (h_{c,eff\ i}) * b = 789.06 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{s,max} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{s,max} =$	0.132	mm	\leq	$w_{d,max} =$	0.200	mm
---	-------	----	--------	---------------	-------	----

VERIFICA STATO LIMITE DI ESERCIZIO: combinazione frequente

Si è condotta la verifica di fessurazione

Verifica a fessurazione

$M_{Ed} =$	23.91	kNm				
$A_{S,compr} =$	passo 20	Φ 14	+	Φ =	7.70	cm ²
$A_{S,tesa} =$	passo 20	Φ 14	+	Φ =	7.70	cm ²

con:

$b =$	100	cm	$h =$	30	cm
$d' =$	4	cm	$d =$	26	cm
$n =$	15				

$\gamma = A_{S,compr} / A_{S,tesa} =$	1.00				
$A_{S,tot} = A_{S,tesa} + A_{S,compr} =$	15.39	cm ²			
$x = (n * A_{S,tot} / b) * [-1 + (1 + (2 * b / (n * A_{S,tot})) * (d + \gamma * d')) / (1 + \gamma))^{0.5}] =$	6.33	cm			
$J_{fess} = b * x^3 / 3 + n * A_{S,tesa} * (d - x)^2 + n * A_{S,compr} * (x - d')^2 =$	53 751	cm ⁴			

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 131.26 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{cm}}{\rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} = -0.00002 < 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00038$$

$$\begin{aligned} K_t &= 0.4 \\ h_{c,eff\ 1} &= 2.5 * (h - d) = 10.00 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 2} &= (h - x) / 3 = 7.89 \text{ cm} \\ h_{c,eff\ 3} &= h / 2 = 15.00 \text{ cm} \\ A_{c,eff} &= \min(h_{c,eff\ i}) * b = 789.06 \text{ cm}^2 \\ \rho_{eff} &= A_s / A_{c,eff} = 0.010 \\ \alpha_e &= E_s / E_{cm} = 6.24 \\ \Delta_{smax} &= k_3 \cdot d' + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 38.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$w_d = \varepsilon_{sm} * \Delta_{smax} = 0.143 \text{ mm} \leq w_{d,max} = 0.300 \text{ mm}$$

Verifica tensioni in esercizio

$$\sigma_c = M_{Ed} * x / J_{fess} = 2.61 \text{ MPa} < 0.45 * f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = n * M_{Ed} * (d - x) / J_{fess} = 121.76 \text{ MPa} < 0.8 * f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$$

12 Verifiche di capacità portante

In accordo con la normativa la verifica di capacità portante è stata effettuata tramite approccio 2, combinazione A1+M1+R3 (NTC18, §6.4.2.1).

La formula impiegata per il calcolo della capacità portante è l'equazione generale di capacità portante per le fondazioni superficiali proposta da Vesic (1975):

$$q_{lim} \cong c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

dove:

- c' è la coesione efficace del terreno;
- $q = \gamma \cdot d$ essendo γ il peso specifico del terreno e d la profondità della fondazione;
- N_c, N_q, N_γ sono i fattori di capacità portante;
- s_c, s_q, s_γ sono i fattori di forma;
- d_c, d_q, d_γ sono i fattori di profondità;
- b_c, b_q, b_γ sono i fattori di inclinazione della base;
- g_c, g_q, g_γ sono i fattori di inclinazione del piano campagna;
- B è la larghezza della fondazione in esame.

I fattori di capacità portante sono definiti come segue.

- $N_q = e^{\pi \cdot tg\phi} \cdot tg^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$
- $N_c = (N_q - 1) \cdot ctg\phi$
- $N_c = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot tg\phi$ (Vesic, 1973)

I fattori di forma per una fondazione rettangolare sono definiti come segue (Vesic, 1975):

- $s_c = 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}$
- $s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot c$
- $s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L}$

dove L rappresenta la lunghezza della fondazione.

I fattori di forma per terreno sabbioso e argilloso in condizioni drenate sono definiti come segue (Vesic, 1975):

- $d_c = d_q - \frac{1-d_q}{N_c \cdot tg\phi}$
- $d_q = 1 + 2 \cdot tg\phi \cdot (1 - \sin\phi)^2 \cdot \frac{D}{B}$
- $d_\gamma = 1$

dove D rappresenta l'interramento.

Il carico trasmesso dalla fondazione sul terreno si ottiene come prodotto del massimo spostamento verticale $U_{z,max}$ verticale e la costante di Winkler K_W (secondo Pozzati), che caratterizza la reazione verticale del terreno e pari a 107800 kN/mc per tutti i manufatti a eccezione dell'edificio servizi, per il quale vale 196200 kN/mc.

Il coefficiente di sicurezza richiesto da normativa è $\gamma_R = 2.30$.

Nei capitoli successivi sono riportati i valori dei parametri considerati e la verifica di capacità portante per i singoli blocchi, con riferimento alla condizione più gravosa individuata nelle modellazioni.

È stata condotta anche un'analisi dei cedimenti previsti in condizioni di magra in corrispondenza della camera di alloggiamento delle idrovore e dei due tratti del manufatto di sbocco, in quanto risultati essere i blocchi più critici per quanto riguarda i cedimenti.

12.1 Canale di alimentazione (Blocco 1)

$q = \gamma_{sat} \cdot d =$	85.5 kN/m ²	$d =$	4.5 m
$\gamma_{sat} =$	19 kN/m ³	$B =$	3.1 m
$\phi =$	21.6 °	$L =$	20.6 m
$c' =$	11.36 kN/m ²	$\varepsilon =$	11
$N_c = 16.44$	$N_q = 7.51$	$N_\gamma = 5.16$	
$s_c = 1.22$	$s_q = 1.06$	$s_\gamma = 0.94$	
$d_c = 1.53$	$d_q = 1.46$	$d_\gamma = 1.00$	
$b_c = 0.83$	$b_q = 0.85$	$b_\gamma = 0.85$	

$$q_{max} \cong U_{z,max} \cdot K_W \cong 0.00036 m \cdot 107800 \text{ kN/mc} = 38.81 \text{ kN/mq}$$

La verifica di capacità portante risulta validata:

$$q_{max} \leq 547.37 \text{ kN/mq} \cong q_{lim}/\gamma_R$$

12.2 Camera di alloggiamento delle idrovore (Blocco 2)

$q = \gamma_{sat} \cdot d =$	155.8 kN/m ²	$d =$	8.2 m
$\gamma_{sat} =$	19 kN/m ³	$B =$	6.8 m
per $\phi =$	21.6 °	$L =$	12.1 m
$c' =$	11.36 kN/m ²		
$N_c = 16.44$	$N_q = 7.51$	$N_\gamma = 5.16$	
$s_c = 1.82$	$s_q = 1.22$	$s_\gamma = 0.78$	
$d_c = 1.44$	$d_q = 1.38$	$d_\gamma = 1.00$	

$$q_{max} = U_{z,max} \cdot K_W = 0.00124 m \cdot 107800 \text{ kN/mc} = 133.67 \text{ kN/m}^2$$

La verifica di capacità portante risulta validata:

$$q_{max} \leq 1184.06 \frac{kN}{mq} = q_{lim}/\gamma_R$$

Il cedimento qui considerato è pari a quello individuato alla Figura 7.9. Se si considera la diminuzione della sottospinta e il peso dell'acqua gravante sulla platea in caso di magra, si ottiene il seguente incremento di cedimento:

$$\begin{aligned} \Delta U_{z_{max}} &\cong + \frac{9.40 \cdot 9.81 \cdot 1.30}{107800} - \frac{2.50 \cdot 9.81 \cdot 1.30}{107800} + \frac{1.40 \cdot 9.81 \cdot 1.30}{107800} \\ &= +0.0011 - 0.0003 + 0.00016 \text{ m} = +0.00096 \text{ m} \end{aligned}$$

La verifica di capacità portante risulta comunque validata:

$$q_{max} = (0.00124 + 0.00096) \text{ m} \cdot 107800 \text{ kN/mc} \cong 237.16 \leq 1184.06 \frac{kN}{mq} = q_{lim}/\gamma_R$$

12.3 Canale di scarico (Blocco 3)

$q = \gamma_{sat} \cdot d =$	216.6 kN/m ²	$d =$	11.4 m
$\gamma_{sat} =$	19 kN/m ³	$B =$	3.1 m
$\text{per } \phi =$	21.6 °	$L =$	9.2 m
$c' =$	11.36 kN/m ²	$\varepsilon =$	11

$N_c = 16.44$	$N_q = 7.51$	$N_\gamma = 5.16$
$s_c = 1.49$	$s_q = 1.13$	$s_\gamma = 0.87$
$d_c = 2.34$	$d_q = 2.16$	$d_\gamma = 1.00$
$b_c = 0.83$	$b_q = 0.85$	$b_\gamma = 0.85$

$$q_{max} = U_{z,max} \cdot K_W = 0.00035 \text{ m} \cdot 107800 \text{ kN/m}^3 = 37.73 \text{ kN/m}^2$$

La verifica di capacità portante risulta validata:

$$q_{max} \leq 1764.66 \frac{kN}{m^2} = q_{lim}/\gamma_R$$

12.4 Canale di sbocco – Tratto scoperto (Blocco 4)

$q = \gamma_{\text{sat}} \cdot d =$	79.8 kN/m ²	$d =$	4.2 m
$\gamma_{\text{sat}} =$	19 kN/m ³	$B =$	5.5 m
per $\phi =$	21.6 °	$L =$	9.95 m
$c' =$	11.36 kN/m ²	$\omega =$	0

$N_c = 16.44$	$N_q = 7.51$	$N_\gamma = 5.16$
$s_c = 1.81$	$s_q = 1.22$	$s_\gamma = 0.78$
$d_c = 1.28$	$d_q = 1.24$	$d_\gamma = 1.00$
$g_c = 1.00$	$g_q = 1.00$	$g_\gamma = 1.00$

$$q_{\max} = U_{z,\max} \cdot K_W = 0.0007 \text{ m} \cdot 107800 \text{ kN/mc} = 75.46 \text{ kN/m}^2$$

La verifica di capacità portante risulta validata:

$$q_{\max} \leq 673.00 \frac{\text{kN}}{\text{mq}} = q_{\text{lim}}/\gamma_R$$

Il cedimento qui considerato è pari a quello individuato alla Figura 9.8. Se si considera la diminuzione della sottospinta e il peso dell'acqua gravante sulla platea in caso di magra, si ottiene il seguente incremento di cedimento:

$$\begin{aligned} \Delta U_{z,\max} &\cong + \frac{9.40 \cdot 9.81 \cdot 1.30}{107800} - \frac{2.50 \cdot 9.81 \cdot 1.30}{107800} + \frac{1.40 \cdot 9.81 \cdot 1.30}{107800} \\ &= +0.0011 - 0.0003 + 0.00016 \text{ m} = +0.00096 \end{aligned}$$

La verifica di capacità portante risulta comunque validata:

$$q_{\max} = (0.0007 + 0.00096) \text{ m} \cdot 107800 \text{ kN/mc} \cong 183.26 \leq 673.00 \frac{\text{kN}}{\text{mq}} = q_{\text{lim}}/\gamma_R$$

12.5 Canale di sbocco – Tratto coperto (Blocco 5)

Il cedimento per l'elemento in questione è individuato alla Figura 10.7. Essendo ovunque positivo per le condizioni valutate nelle analisi strutturali, risulta automaticamente soddisfatta la verifica dei cedimenti. Considerando però, come in precedenza fatto per il tratto scoperto del canale di sbocco (Capitolo 12.4) le condizioni di magra, si ottiene un cedimento pari a:

$$\begin{aligned} \Delta U_{z,\max} &\cong + \frac{9.40 \cdot 9.81 \cdot 1.30}{107800} - \frac{2.50 \cdot 9.81 \cdot 1.30}{107800} + \frac{1.40 \cdot 9.81 \cdot 1.30}{107800} \\ &= +0.0011 - 0.0003 + 0.00016 \text{ m} = +0.00096 \end{aligned}$$

La verifica di capacità portante risulta comunque validata:

$q' = \gamma_{\text{sat}} \cdot d =$	74.1 kN/m ²	$d =$	3.9 m
$\gamma' =$	19 kN/m ³	$B =$	4.45 m
per $\phi =$	21.6	$L =$	5.5 m
$c' =$	11.36 kN/m ²	$\omega =$	0

$N_c = 16.44$	$N_q = 7.51$	$N_\gamma = 5.16$
$s_c = 2.18$	$s_q = 1.32$	$s_\gamma = 0.68$
$d_c = 1.32$	$d_q = 1.28$	$d_\gamma = 1.00$
$g_c = 1.00$	$g_q = 1.00$	$g_\gamma = 1.00$

$$q_{\max} = (0.00096)m \cdot 107800 \text{ kN/mc} \cong 103.48 \leq 705.64 \frac{\text{kN}}{\text{mq}} = q_{\text{lim}}/\gamma_R$$

12.6 Edificio servizi

$q' = \gamma_{\text{sat}} \cdot d =$	9.5 kN/m ²	$d =$	0.5 m
$\gamma' =$	19 kN/m ³	$B =$	5.6 m
per $\phi =$	21.6	$L =$	11.5 m
$c' =$	11.36 kN/m ²		

$N_c = 16.44$	$N_q = 7.51$	$N_\gamma = 5.16$
$s_c = 1.71$	$s_q = 1.19$	$s_\gamma = 0.81$
$d_c = 1.03$	$d_q = 1.03$	$d_\gamma = 1.00$

$$q_{\max} = U_{z,\max} \cdot K_W = 0.0004 \text{ m} \cdot 196200 \text{ kN/m}^3 = 78.48 \text{ kN/m}^2$$

La verifica di capacità portante risulta validata:

$$q_{\max} \leq 277.44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = q_{\text{lim}}/\gamma_R$$

13 Analisi delle opere esistenti

Le strutture esistenti interessate dalla progettazione sono le chiaviche Riva, Tidoncello di monte, Galeotto, Gobbi e Torchione, per le quali è prevista la dismissione (TAVV. 6.2, 6.3, 6.5 e 6.6) e la chiavica Boscone, per la quale si è prevista la sola modifica dell'accesso agli organi di manovra (vedi TAV. 6.1).

Gli interventi di dismissione prevedono il riempimento completo della canna esistente con miscela fluida, autolivellante, preconfezionata a base di leganti idraulici e aggregati naturali, caratterizzata da resistenza meccanica a 28 giorni di 1.2 N/mm^2 . Per evitare poi qualunque rischio di infiltrazioni di acqua fra il corpo arginale e il manufatto, specie durante le piene di maggiore durata, si è prevista la realizzazione di una paratia impermeabilizzante ottenuta attraverso la formazione di colonne di terreno consolidato $\varnothing 600 \text{ mm}$ (jet-grouting), compenstrate del 50%. Lo sviluppo in pianta della paratia sarà sempre pari a 15 m complessivi intorno all'asse delle chiaviche, mentre la profondità varierà fra 9.00 e 10.00 m, spingendosi fino a 2.00 metri al di sotto della fondazione della canna. Si è previsto infine il riempimento del manufatto di sbocco e del fosso di scarico, per una lunghezza di circa 15 m, con lo stesso materiale che andrà a costituire il rilevato arginale in progetto.

Per quanto concerne i lavori di adeguamento della chiavica Boscone, la realizzazione della scala di accesso in luogo della passerella esistente non modifica le condizioni di carico cui è soggetta la struttura allo stato di fatto.

Per questa struttura non è stata ritenuta necessaria la valutazione della sicurezza, in accordo con quanto riportato dalla normativa vigente (NTC18, cap. 8); la suddetta normativa elenca infatti al paragrafo §8.3 le tipologie di intervento e le condizioni allo stato di fatto delle opere esistenti per le quali si renda necessaria la redazione di tale valutazione della sicurezza. A seguito dei numerosi sopralluoghi svolti dallo scrivente, è stato possibile riscontrare come vengano meno le citate condizioni, secondo quanto di seguito esposto:

- a) allo stato di fatto non si hanno evidenze di decadimento delle caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali, problemi in fondazione, né di altre criticità che possano ridurre la capacità resistente e/o deformativa delle strutture;
- b) non si segnalano gravi errori di progetto o di costruzione dei corpi delle chiaviche, né tantomeno difformità alle norme tecniche per le costruzioni vigenti al momento della costruzione;
- c) non è previsto alcun incremento delle azioni gravanti sulle opere, né se ne prevede la modifica dell'attuale destinazione d'uso;
- d) gli interventi sulle opere esistenti, sopradescritti, non coinvolgono in alcun modo le parti strutturali delle chiaviche.

14 Verifiche sulla paratoia motorizzata

In corrispondenza del muro di testa del manufatto di sbocco è prevista l'installazione di una paratoia motorizzata, la cui chiusura sarà comandata da un sensore nel momento in cui il livello del fiume supererà quota 50.00 m s.l.m.

Per quanto riguarda la paratoia si è ritenuto necessario effettuare la verifica strutturale a flessione del profilato UPN120 orizzontale. Le azioni considerate sono quelle di piena duecentennale del Fiume Po, con tirante posto a quota 56.92 m s.l.m. Lo schema dello stato di carico è riportato in Figura 14.1.

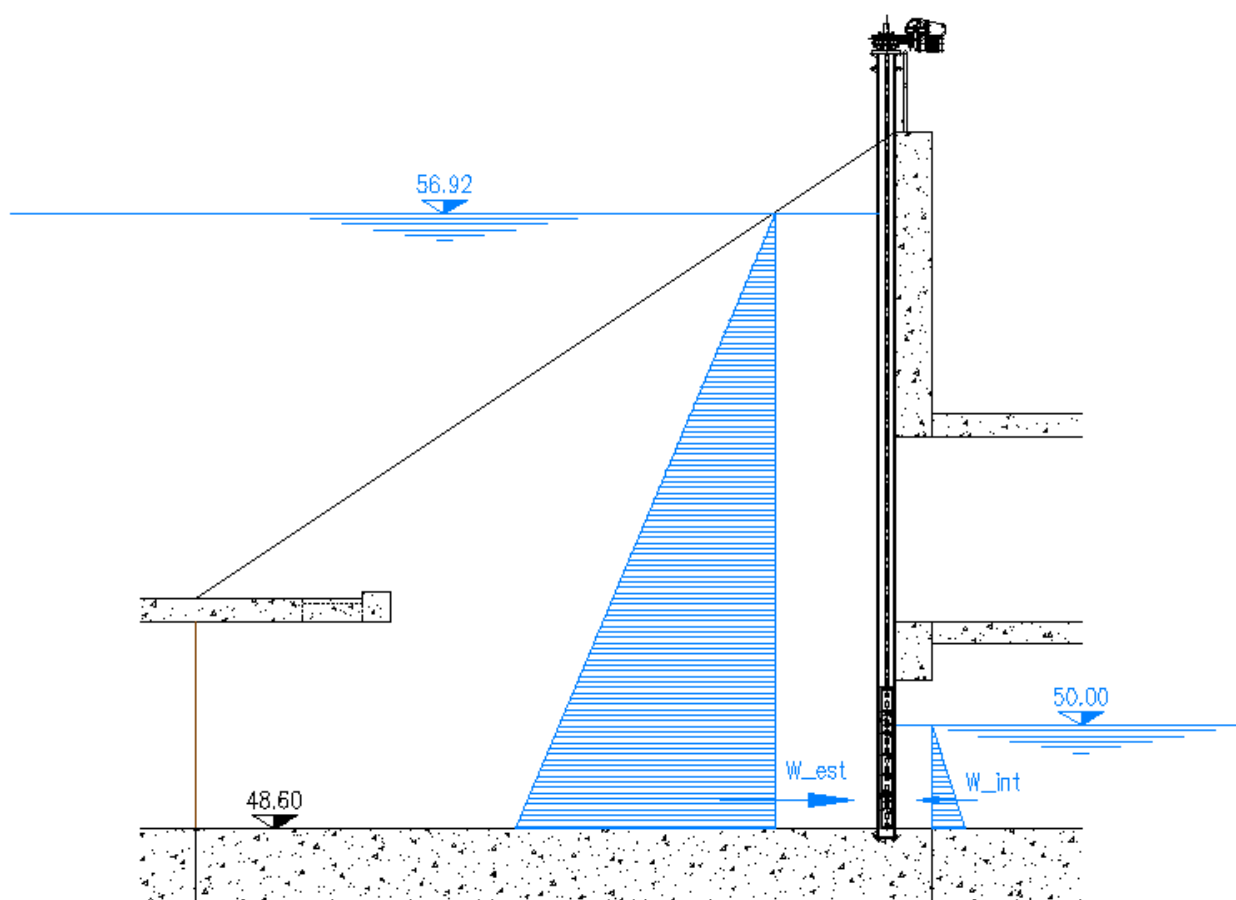


Figura 14.1 Stato di sforzo per la paratoia motorizzata in condizione di piena duecentennale

La paratoia motorizzata è rappresentata nella TAV. 7.5.

14.1 Verifica a flessione del profilato UPN120 orizzontale

Il problema è stato schematizzato rappresentando il profilato come un elemento monodimensionale cui è applicato un carico uniformemente distribuito riconducibile alla pressione dell'acqua. Tale carico si ottiene in via conservativa assumendo che sull'area di influenza del profilato agisca la pressione massima dell'acqua.

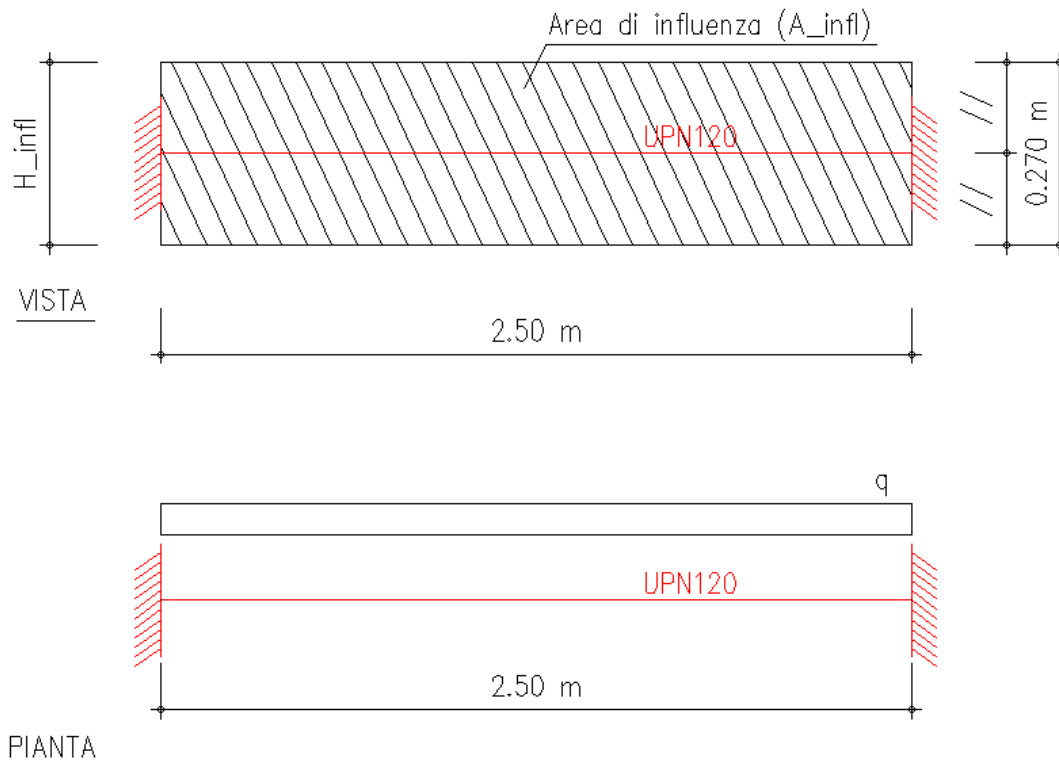


Figura 14.2 Area di influenza sul corpo di paratoia del singolo profilato e schematizzazione dello stato di vincolo e sforzo

$$q = q_d = p_{max} \cdot A_{infl} = (W_{est_{max}} - W_{int_{max}}) \cdot H_{infl} = 9.81 \text{ kN/m}^3 \cdot (8.32 - 1.50) \text{ m} \cdot 0.270 \text{ m} \cong 18.04 \text{ kN/m}$$

Essendo $W_{est_{max}}$ e $W_{int_{max}}$ i valori di pressione massimi agenti sulle facce opposte della paratoia. Il momento massimo si registra in corrispondenza degli incastri e si ottiene mediante la seguente relazione.

$$M_{max} = \frac{q_d \cdot L^2}{12} \cong 7.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Essendo $L = 2.30 \text{ m}$ la lunghezza del profilato.

E' possibile ricavare il massimo sforzo nella sezione dividendo il momento massimo per il modulo di resistenza della sezione W .

$$\sigma_{max} = M_{max}/W \cong 68.53 \text{ N/mm}^2$$

Considerando le caratteristiche dell'acciaio S355JR:

$$\sigma_{max} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_{M_0}} = \frac{355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.05} \cong 338.09 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

Il valore di γ_{M_0} è assunto come da normativa (NTC18, Tab. 4.2.VII).

15 Verifiche sui parapetti

La verifica è stata condotta considerando un montante costituito da tubolare circolare di diametro 48.3 mm e spessore 4.00 mm con interasse $l = 1.20\text{ m}$. L'altezza (h) del parapetto e quindi del montante è assunta pari ad 1.10 m in accordo con la normativa (D.M. n°236/89).

Il sovraccarico orizzontale riconducibile alle persone appoggiate al parapetto è stato amplificato come da normativa.

$$H_d = H_k \cdot \gamma_{Qi} \cong 1.00\text{ kN/m} \cdot 1.50 \cong 1.50\text{ kN/m}$$

La forza concentrata applicata alla sommità del montante si ottiene moltiplicando H_d per l'interasse tra i tubolari:

$$H_{d,conc} = H_d \cdot l = 1.50\text{ kN/m} \cdot 1.20\text{ m} = 1.80\text{ kN}$$

Il valore massimo del momento agente M nel tubolare si registra alla base e si ottiene moltiplicando $H_{d,conc}$ per il suo braccio, che coincide con l'altezza del parapetto.

$$M = H_{d,conc} \cdot h = 1.80\text{ kN} \cdot 1.10\text{ m} = 1.98\text{ kN} \cdot \text{m}$$

Si ricava dunque il valore della tensione massima.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} \cong 251.69\text{ N/mm}^2$$

E' dunque verificata la seguente condizione (considerando le caratteristiche dell'acciaio zincato S275 impiegato per la realizzazione del parapetto, riportate al Capitolo 5.3.4):

$$\sigma_{max} \leq f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{275\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1.05} \cong 261.90\text{ N/mm}^2 \Rightarrow OK$$

Milano, luglio 2019

Il progettista

Dott. Ing. Fulvio Bernabei