



RELAZIONE DI CALCOLO DELLA SOLETTA

PONTI IN ACCIAIO

INDICE

1. INTRODUZIONE	5
1.1 Caratteristiche dell'opera.....	5
1.2 Livello di conoscenza e fattore di confidenza.....	8
1.3 Descrizione della documentazione di partenza.....	9
2. NORMATIVE E RIFERIMENTI.....	10
2.1 Normative e standard.....	10
3. MATERIALI.....	11
3.1 Acciaio per carpenteria metallica.....	11
3.2 Calcestruzzi per opere d'arte strutturali e acciaio da armature	12
4. SOLETTA.....	18
4.1 Carichi agenti e modellazione	18
4.1.1 Peso proprio	18
4.1.2 Permanenti	18
4.1.3 Carichi accidentali folla.....	19
4.1.4 Carichi accidentali mezzi.....	20
4.1.5 Urto di veicoli in svio.....	26
4.1.6 Carichi accidentali in esercizio da 58 ton	27
4.1.7 Carichi accidentali in esercizio da 45 ton	33
4.2 Sollecitazioni flettenti.....	37
4.3 Sbalzo zona tipica sollecitazioni NTC	40
4.3.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	41
4.3.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	44
4.3.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	45
4.3.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	48
4.3.5 Verifica armature trasversali – Combinazione Eccezionale	51
4.4 Campata zona tipica sollecitazioni NTC	52
4.4.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	53
4.4.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	56
4.4.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	57
4.4.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	60
4.5 Continuità zona tipica sollecitazioni NTC.....	63
4.5.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	64
4.5.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	67
4.5.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	68
4.5.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	71
4.6 Sbalzo zona di giunto sollecitazioni NTC.....	74
4.6.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	75
4.6.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	78
4.6.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	79
4.6.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	82
4.6.5 Verifica armature trasversali – Combinazione Eccezionale	85
4.7 Campata zona di giunto sollecitazioni NTC	86
4.7.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	87
4.7.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	90

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po
	Verifica statica

4.7.3	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	91
4.7.4	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	94
4.8	Continuità zona di giunto sollecitazioni NTC.....	97
4.8.1	Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	98
4.8.2	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	101
4.8.3	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	102
4.8.4	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	105
4.9	Sbalzo zona tipica sollecitazioni con carichi in esercizio.....	108
4.9.1	Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	109
4.9.2	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	112
4.9.3	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	113
4.9.4	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	116
4.9.5	Verifica armature trasversali – Combinazione Eccezionale	119
4.10	Campata zona tipica sollecitazioni con carichi in esercizio	120
4.10.1	Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	121
4.10.2	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	124
4.10.3	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	125
4.10.4	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	128
4.11	Continuità zona tipica sollecitazioni con carichi in esercizio.....	131
4.11.1	Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	132
4.11.2	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	135
4.11.3	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	136
4.11.4	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	139
4.12	Sbalzo zona di giunto sollecitazioni con carichi in esercizio.....	142
4.12.1	Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	143
4.12.2	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	146
4.12.3	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	147
4.12.4	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	150
4.12.5	Verifica armature trasversali – Combinazione Eccezionale	153
4.13	Campata zona di giunto sollecitazioni con carichi in esercizio	154
4.13.1	Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	155
4.13.2	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	158
4.13.3	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	159
4.13.4	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	162
4.14	Continuità zona di giunto sollecitazioni con carichi in esercizio	165
4.14.1	Verifica armature trasversali – Combinazione SLU	166
4.14.2	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara.....	169
4.14.3	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente	170
4.14.4	Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente	173
5.	CONCLUSIONI	176
5.1	Verifiche con carichi accidentali da NTC 2018.....	176
5.2	Verifiche con carichi accidentali in esercizio da 58 ton	177
5.3	Verifiche con carichi accidentali in esercizio da 45 ton	178
5.4	Sintesi delle verifiche e proposte di intervento.....	Errore. Il segnalibro non è definito.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento territoriale	5
Figura 2 – Sezione trasversale campata di riva	6
Figura 3 – Sezione trasversale campata centrale	6
Figura 4 – Dettaglio di appoggio della campata di riva.....	7
Figura 5 – Livelli di conoscenza per le costruzioni in cemento armato	8
Figura 6 – Sezione trasversale	18
Figura 7 – Assegnazione dei carichi soletta	18
Figura 8 – Assegnazione dei carichi permanenti.....	18
Figura 9 – Ripartizione carichi folla condizione 1	19
Figura 10 – Ripartizione carichi folla condizione 2	19
Figura 11 – Diffusione nel piano verticale.....	20
Figura 12 – Assegnazione del carico schema 1 sbalzo	21
Figura 13 – Assegnazione del carico schema 2 sbalzo	22
Figura 14 – Assegnazione del carico accidentale in campata	23
Figura 15 – Assegnazione del carico schema 1 sbalzo	23
Figura 16 – Assegnazione del carico schema 2 sbalzo	24
Figura 17 – Assegnazione del carico accidentale in campata	25
Figura 18 – Diffusione nel piano orizzontale del carico svio zona tipica	26
Figura 19 – Diffusione nel piano orizzontale del carico svio zona di giunto	26
Figura 20 – Schematizzazione ed assegnazione dei carichi in esercizio.....	27
Figura 21 – Diffusione del carico da 170 kN.....	28
Figura 22 – Diffusione dei carichi da 110 kN.....	28
Figura 23 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carico da 170 kN.....	29
Figura 24 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carichi da 110 kN	30
Figura 25 – Diffusione del carico da 170 kN.....	30
Figura 26 – Diffusione dei carichi da 110 kN.....	31
Figura 27 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carico da 170 kN	32
Figura 28 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carichi da 110 kN	32
Figura 29 – Schema autocarro da 450 kN.....	33
Figura 30 – Diffusione del carico dovuto ad un asse del mezzo da 450 kN.....	34
Figura 31 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carico asse da 150 kN	35
Figura 32 – Diffusione del carico dovuto ad un asse del mezzo da 450 kN.....	35
Figura 33 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carico asse da 150 kN	36

1. INTRODUZIONE

La presente relazione di calcolo riporta le verifiche statiche delle solette dei tre ponti in acciaio esistenti sul canale Milano – Cremona – Po situati in prossimità dell'abitato di Spinadesco (Cremona). Tali opere presentano le medesime caratteristiche geometriche ed allo stato attuale consentono il passaggio di tutti i mezzi previsti dalle normative vigenti senza alcuna limitazione di transito.



Figura 1 – Inquadramento territoriale

1.1 Caratteristiche dell'opera

Per i tre ponti in oggetto si è adottata la medesima soluzione, suggerita dall'evidenza dei sondaggi geognostici disponibili al momento della realizzazione dell'opera e, soprattutto, dalla eventualità di una sua ripetuta applicazione. Tale soluzione prevede uno schema isostatico composto da una campata centrale avente luce pari a 49,10 m, semplicemente appoggiata sulle pile e due minori campate laterali, tra loro identiche e di luce pari a 15,00 m, vincolate con appoggio mobile sulle spalle e a cerniera sulle estremità delle travi centrali.

La realizzazione di un'opera avente tali caratteristiche geometriche è stata propedeutica al raggiungimento dei seguenti scopi:

- 1) Sottrarre la struttura agli effetti di eventuali cedimenti delle fondazioni;
- 2) Sollecitare tutte le sezioni con momento positivo, con conseguente completo sfruttamento del calcestruzzo in compressione ed eliminando il fenomeno di fessurazione della soletta nelle zone di momento negativo;
- 3) Trasmettere alle pile reazioni sempre centrate ed alle spalle sempre positive per qualsiasi disposizione di carico;
- 4) Permettere una maggior semplicità di montaggio.

L'impalcato è costituito da tre travi in acciaio a parete piena, di altezza costante nelle diverse campate, poste ad interasse di 3 m e da traversi, reticolari nella campata centrale, a parete piena in quelle laterali, pure ad interasse 3 m. le travi e i traversi portano una soletta di calcestruzzo armato cui forniscono l'appoggio su campi

quadrati di 3 x 3 metri. La soletta inoltre è resa solidale alle travi da appositi ancoraggi e con esse collabora a sopportare le sollecitazioni indotte dai carichi accidentali e permanenti.

Gli apparecchi di appoggio della campata centrale sono realizzati con segmenti di rullo in acciaio. Le campate laterali hanno appoggi metallici in corrispondenza delle cerniere ed in cuscinetti in neoprene armato in corrispondenza delle spalle. Questa soluzione ha permesso di adottare pile di sezione relativamente modesta sottraendole completamente a qualunque azione orizzontale. Ciò vale anche per le loro fondazioni previste a 6 pali diametro 50 cm per profondità fino a 10 m, a 3 pali diametro 80 cm per profondità superiori.

Le due spalle sopportano la reazione verticale delle campate laterali e, grazie alla loro posizione, una debole spinta di terreno da parte del rilevato di accesso al ponte; si ripartiscono inoltre, in ugual misura, le forze orizzontali indotte dal frenamento e dalla non perfetta mobilità degli appoggi in neoprene rispetto alla dilatazione termica. Sono realizzate da 2 pali di diametro 50 cm collegati in testa da una traversa sagomata a sella che porta a sbalzo, alle sue estremità, le due pareti di risvolto. L'aspetto architettonico dell'insieme è stato dettato dall'assoluta funzionalità statica dell'opera. La campata centrale come pure quelle laterali non portano irrigidimenti in vista.

Sezione trasversale campata di riva

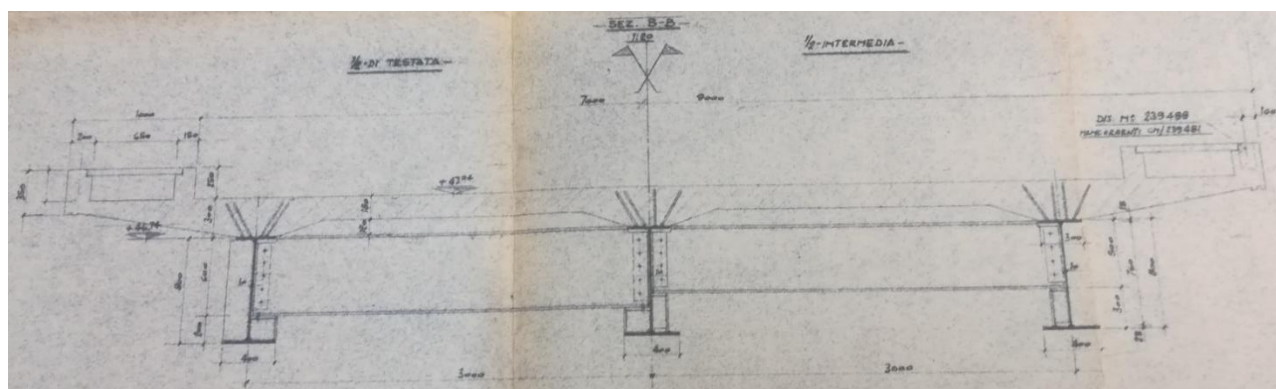


Figura 2 – Sezione trasversale campata di riva

Sezione trasversale campata centrale

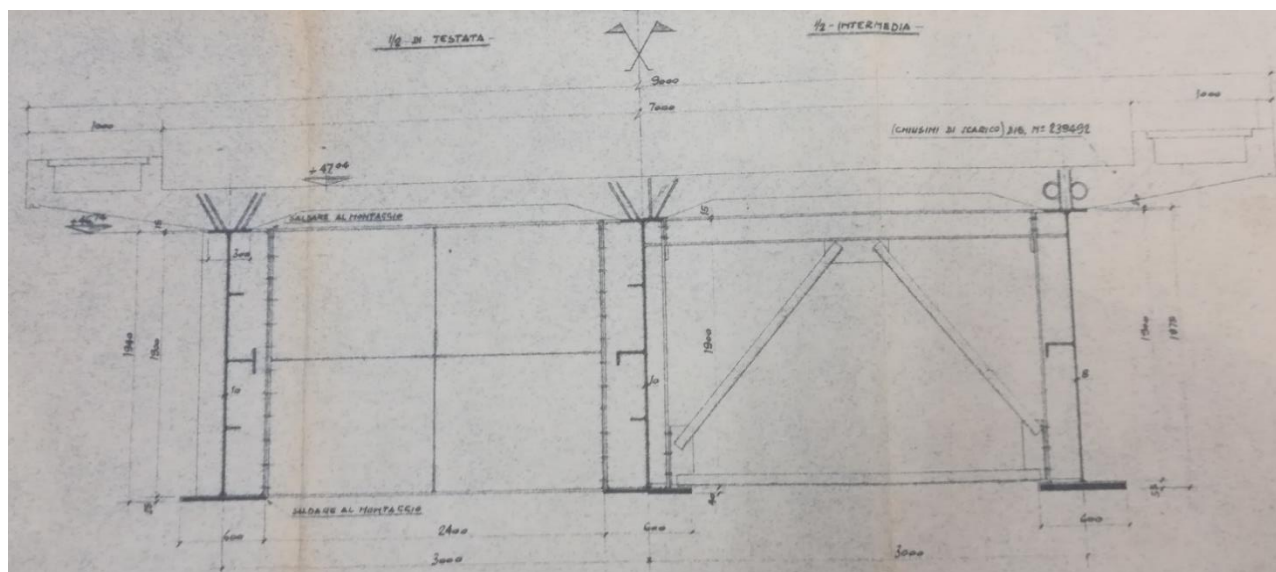


Figura 3 – Sezione trasversale campata centrale

La sede stradale è caratterizzata da due corsie di marcia ciascuna di larghezza pari a 350 cm, affiancate da due marciapiedi laterali di larghezza pari a 100 cm.

Nella figura seguente si schematizza i dettagli dell'appoggio della campata di riva sulla pila intermedia.



Figura 4 – Dettaglio di appoggio della campata di riva

La soletta in calcestruzzo armato ordinario ha uno spessore variabile da 18 a 30 cm, ringrossato in corrispondenza dell'attacco alle travi principali). La soletta è resa solidale e collaborante con la sottostruttura in acciaio tramite connettori, tipo barre, collocati sulla piattabanda superiore delle travi principali.

La sezione longitudinale è segmentata in differenti tipologie di conci, aventi lunghezza variabile. Tali tipologie di conci sono simmetriche rispetto alla mezzzeria della campata centrale. Inoltre si specifica che essi sono collegati tramite giunti saldati e tramite un solo giunto bullonato collocato a 8,18 m rispetto all'asse delle pile verso la campata centrale.

Il getto della soletta in calcestruzzo è avvenuto su sostegni provvisori collocati in corrispondenza dei giunti bullonati. In questo modo le sollecitazioni delle fasi di pesi propri sono già assegnate alla sezione mista in seconda fase.

Le opere oggetto della presente relazione sono state progettate e calcolate secondo i metodi della scienza delle costruzioni, adottando per le verifiche il criterio degli stati limite (S.L.). Tali verifiche, per ciascun elemento strutturale, sono contenute nella presente relazione di calcolo.

1.2 Livello di conoscenza e fattore di confidenza

La conoscenza di un'opera esistente risente di questi aspetti fondamentali:

- Il "progetto" (o meglio la costruzione) riflette lo stato delle conoscenze (regola d'arte) al tempo della loro edificazione e può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione che non sono direttamente visibili o evidenziabili;
- Le opere esistenti possono aver già sopportato in passato terremoti (più o meno violenti) o altre azioni accidentali, i cui effetti possono essere più o meno manifesti;
- Le opere esistenti presentano situazioni concrete che possono essere le più diverse (e a volte imprevedibili).

Dalle ricerche condotte è stato possibile reperire gli elaborati del progetto realizzato e le relative relazioni tecniche. Quindi sono stati individuati mediante sopralluogo svolto in data 6 dicembre, i singoli elementi strutturali e le loro caratteristiche geometriche risultati conformi con quanto indicato negli elaborati di progetto.

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo	Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3	completo	Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

Figura 5 – Livelli di conoscenza per le costruzioni in cemento armato

Geometria

La geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso è effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare o non lineare.

Dettagli costruttivi

I dettagli sono noti o da un'esaustiva verifica in-situ oppure dai disegni costruttivi originali. In quest'ultimo caso è effettuata una *limitata* verifica in-situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti.

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

Proprietà dei materiali

Informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali, o da esaustive verifiche in-situ. Nel primo caso sono anche eseguite estese prove in-situ; se i valori ottenuti dalle prove in-situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite esaustive prove in-situ. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

Nel caso in esame è possibile assumere un livello di conoscenza approfondito e pari a LC2 corrispondente ad un fattore di confidenza sui materiali pari a $F_c = 1,20$.

1.3 Descrizione della documentazione di partenza

Tra gli elaborati a disposizione, le informazioni relative alla geometria delle opere in acciaio sono state desunte dalle tavole e dalle relazioni di calcolo redatte negli anni 60 dall'officina Savigliano, in particolare:

Elaborato n. CM/239494/A	Complessivo di montaggio
Elaborato n. CM/239490	Campata centrale
Elaborato n. CM/239491/A	Campata di estremità
Elaborato n. CM/239118/A	Relazione tecnica e calcoli statici
Elaborato n. 239114	Impalcato

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

2. NORMATIVE E RIFERIMENTI

2.1 Normative e standard

Il dimensionamento delle opere in progetto è condotto in riferimento alle attuali normative e di seguito elencate.

D.M. 17/01/2018	Norme Tecniche per le costruzioni
D.M. 14/01/2008	Norme Tecniche per le costruzioni
Circ. Min. 2 febbraio 2009 n. 617	Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per la costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008

3. MATERIALI

3.1 Acciaio per carpenteria metallica



4 EMME Service S.p.A.

Laboratorio Prove Materiali

Via Scarsellini 13 – 20161 Milano Tel. 0240092545 – Fax 40092743
laboratorio.mi@4emme.it – www.4emme.it

Sede legale: Via L. Zuegg 20 – 39100 Bolzano
Sistema Qualità ISO 9001:2008 certificato RINA nr. 6441/01/S
Pagina 1 di 1

CERTIFICATO	NR. 4416	del 05/02/2019
--------------------	-----------------	-----------------------

Intestatario certificato: Centro Padane Srl - Via Coletta,1 Cremona
Verbale di accettazione: Nr. 3051 del 10/01/2019
Descrizione della prova: PROVA DI TRAZIONE SU PROVINI IN ACCIAIO
Norme di riferimento: UNI – EN – ISO 6892 – 1 : 2016
Descrizione del materiale: 1 provino in acciaio
Cantiere - Luogo del Prelievo: Acquanegra Cremonese (CR)
Committente delle opere: Centro Padane Srl - Via Coletta,1 Cremona
Impresa: ND
Prelievo eseguito da: 4 Emme Service Spa
Richiesta sottoscritta dal Direttore Lavori: no
Data della prova: 01/02/2019

Sigla	Data prelievo	Posizione in opera	a [mm]	b [mm]	Sezione [mm ²]	Tensione di snervamento f_y [N/mm ²]	Tensione di rottura f_t [N/mm ²]	Allungamento %
F3	ND	Ponte carpenteria	25,7	25,2	647,6	328,2	486,9	31,9

Note: Provino proporzionale.

Attrezzatura utilizzata					Certificato di taratura		
Nr.	Tipo	Matricola	Marca	Portata	Nr.	Data	Ente
04	C 807	03074442	Controls	600 kN	LAT 104 0264/2018	22/02/2018	Politecnico di Milano

3.2 Calcestruzzi per opere d'arte strutturali e acciaio da armature

INDAGINI SUI CALCESTRUZZI	
Carotaggio del calcestruzzo	
<p>Lo scopo di questa indagine è di fornire al laboratorio il provino da sottoporre a prova di compressione per determinare la R.m.c. e verificare, ed eventualmente correggere, i risultati ottenuti con metodi non distruttivi.</p> <p>Dalla prova sulla carota si potrà ricavare il modulo elastico e lo spessore della carbonatazione. Esempio:</p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div>	
<p>PROCEDURA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il punto di carotaggio deve essere verificato con il pacometro per evitare di tagliare armature fondamentali, cavi elettrici o telefonici. Nel caso venga riscontrata la presenza di un elemento estraneo al calcestruzzo, e non individuato precedentemente, la prova va interrotta. • La strumentazione utilizzata è un carotatore di diametro generalmente 100 mm. • Scegliere l'utensile necessario per il carotaggio con un diametro pari ad almeno tre volte il diametro massimo dell'inerte. E' importante che la lama della carota sia perfettamente affilata per evitare pericolose vibrazioni. • La carotatrice va fissata con accuratezza e perfettamente ortogonale alla superficie di lavoro. • Va sempre previsto il tubo per l'acqua di raffreddamento e l'aspiratore del fango di taglio. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Una volta terminato il prelievo fotografare la carota su un piano di colore neutro. <p>NOTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Da tenere presente che la forma del cilindro è regolata da UNI 12390-1 e che le correlazioni con la resistenza del cls (R_{ck}) sono da riferirsi generalmente ad un R_{ck} cubico di lato 15 cm x 15 cm. • Tale correlazione è paragonabile con un cilindro di diametro 15 cm ed altezza 30 cm. <p>RIFERIMENTI Norma UNI EN 12504-1</p>	

INDAGINI SUI CALCESTRUZZI

Valutazione della profondità della carbonatazione

La prova ha lo scopo di determinare la profondità di carbonatazione dello strato superficiale del calcestruzzo.

Il calcestruzzo possiede un valore di pH di circa 12,5, cosa che gli conferisce un carattere fortemente alcalino. Questa forte alcalinità costituisce una protezione naturale dell'armatura contro la corrosione.

Il calcestruzzo carbonatato è fortemente permeabile e riduce la capacità protettiva; fornisce inoltre una durezza superiore che tende ad ingannare i metodi di determinazione della resistenza a compressione misurati con sclerometro.

Esempio:



PROCEDURA

- Il punto di carotaggio deve essere verificato con il pacometro per evitare di tagliare armature fondamentali, cavi elettrici o telefonici. Nel caso venga riscontrata la presenza di un elemento estraneo al calcestruzzo, e non individuato precedentemente, la prova va interrotta.
- La strumentazione utilizzata è un carotatore di diametro generalmente 100 mm.
- Scegliere l'utensile necessario per il carotaggio con un diametro pari ad almeno tre volte il diametro massimo dell'inerte. E' importante che la lama della carota sia perfettamente affilata per evitare pericolose vibrazioni.
- La carotatrice va fissata con accuratezza e perfettamente ortogonale alla superficie di lavoro.
- Va sempre previsto il tubo per l'acqua di raffreddamento e l'aspiratore del fango di taglio.

- Una volta terminato il prelievo spruzzare con soluzione indicatore di fenoltaleina in quantità appena sufficiente a inumidire la superficie, fotografare la carota su un piano di colore neutro.

NOTE

- Da tenere presente che la forma del cilindro è regolata da UNI 12390-1 e che le correlazioni con la resistenza del cls (R_{ck}) sono da riferirsi generalmente ad un R_{ck} cubico di lato 15 cm x 15 cm.
- Tale correlazione è paragonabile con un cilindro di diametro 15 cm ed altezza 30 cm.

RIFERIMENTI

Norma UNI EN 12504-1
Norma UNI EN 14630

INDAGINI SUGLI ACCIAI

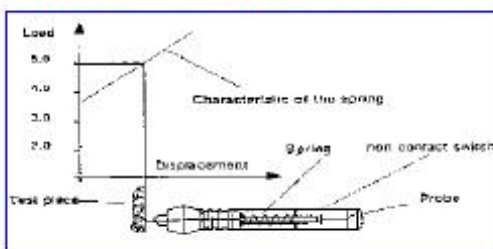
Descrizione prove con microdurometro Vickers

L'indagine tramite microdurometro Vickers ha lo scopo di ottenere una valutazione della resistenza meccanica a trazione dell'acciaio, eseguendo un controllo della durezza mediante l'utilizzo di un microdurometro portatile. La valutazione dell'impronta Vickers viene effettuata per via elettronica con il metodo UCI. Esempio:



PROCEDURA

Il penetratore, costituito dalla piramide Vickers, è montato sull'estremità di una barretta metallica che viene eccitata a vibrare longitudinalmente con una frequenza di 78 kHz. Nel contatto tra il diamante Vickers e l'elemento, la frequenza subisce una variazione che dipende dalla superficie dell'impronta che, a sua volta, costituisce una misura della durezza del materiale in prova.



- Premere la punta di diamante sulla superficie dell'acciaio producendo un'impronta; in questo modo si carica progressivamente una molla elicoidale contenuta nel corpo della sonda. Quando il carico ha raggiunto un valore corrispondente a quello di misura lo strumento rileva automaticamente la misura dell'impronta e la memorizza.
- Attraverso i valori di durezza Vickers (HV) ottenuti, calcolare la resistenza a trazione:

$$R_t = Brinell \cdot 3,55 \quad \text{se } Brinell \leq 175$$

$$R_t = Brinell \cdot 3,338 \quad \text{altrimenti}$$

dove:

R_t = singole resistenze a trazione;
 $Brinell$ = durezza Brinell = 0,95HV.

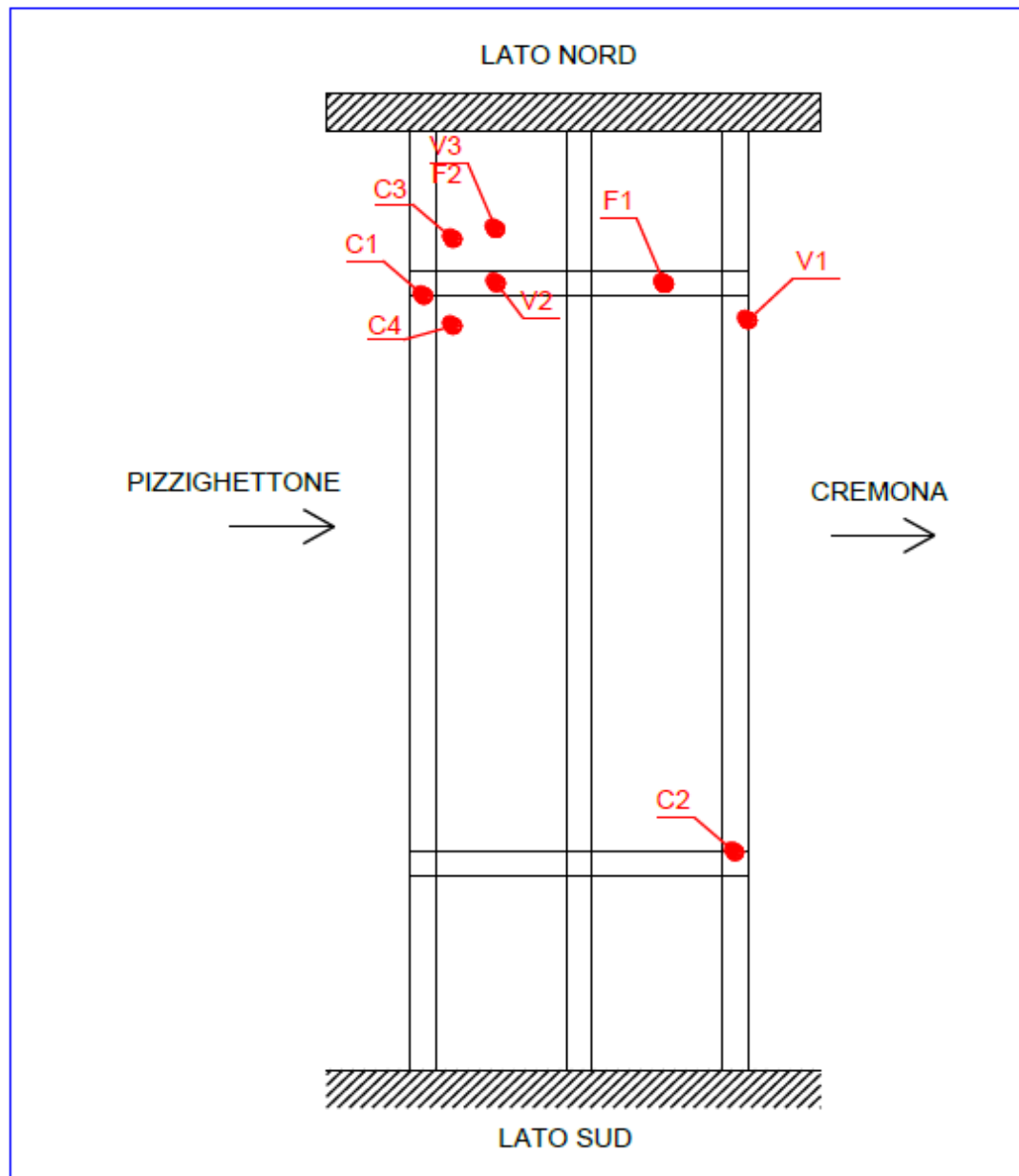
- Preparare l'area d'indagine eliminando la vernice e lucidandola con carta abrasiva di grana 400.

RIFERIMENTI

Norma UNI EN ISO 18265
 DIN 50157

Di seguito è riportato un elenco delle indagini effettuate e le loro localizzazioni:
Lo schema riportato è puramente illustrativo.

- C – Carotaggi e carbonatazione
- V – Indagini vickers
- F – Prelievo ferri



Localizzazione delle indagini effettuate

• *Carotaggi e carbonatazione*




Sul ponte sono stati eseguiti n. 4 prelievi di provini cilindrici Ø80 sui manufatti della struttura, con l'obiettivo di avviare i campioni al laboratorio per prove di compressione.


Prima dell'esecuzione dei prelievi è stata controllata la disposizione delle armature tramite pacometro senza trovare armatura.

Prima dell'esecuzione delle prove di compressione, avvenute nel rispetto della norma UNI 12390-3, si è proceduto a tagliare e rettificare i provini mediante rettifica meccanica. Il rapporto tra diametro e altezza mantenuto al momento dell'esecuzione della prova è stato di 1 a 1.

Sono state eseguite n. 4 prove di carbonatazione sui provini cilindrici prelevati dai manufatti della struttura.

Nella tabella successiva viene riportata la descrizione dettagliata dei campioni cilindrici estratti.

Carota	Elemento	Lunghezza cm	Esposizione Note	Immagini
C1	Pilastro Lato Nord	11,0	Prelievo effettuato orizzontalmente Carbonatazione Media 15mm	
C2	Pilastro Lato Sud	17,0	Prelievo effettuato orizzontalmente Carbonatazione assente	
C3	Soletta Sp. 35 cm Di cui 16 cm strato bituminoso	21,5	Prelievo effettuato Verticalmente Carbonatazione assente	

Carota	Elemento	Lunghezza cm	Esposizione Note	Immagini
C4	Soletta Sp. 35 cm Di cui 22,5 cm strato bituminoso	12,5	Prelievo effettuato verticalmente Carbonatazione assente	

- Indagini vickers**

Sono state eseguite n. 3 indagini vickers con microdurometro su elementi metallici della struttura, come di seguito riportato:

- V1: indagine effettuata sull'ala della trave principale sul lato est del ponte;
- V2: indagine effettuata su barra d'armatura Ø 20 Rumi su traverso lato nord;
- V3: indagine effettuata su barra d'armatura Ø 14 Rumi su soletta lato nord/ovest.

Vickers	Indice di durezza Vickers (HV)			Durezza Brinell (HB)	Tensione di rottura a trazione [MPa]
	Min	Max	Medio		
V1	124,0	156,0	140,0	133,0	472,2
V2	209,0	229,0	217,0	206,2	688,1
V3	170,0	222,0	199,0	189,1	631,0

Caratteristica	Fe 360	Fe 430	Fe 510	S 235	S 275	S 355	S 450
Tensione di snervamento f_y [MPa]	> 235	> 275	> 355	235	275	355	440
Tensione di rottura a trazione f_t [MPa]	340 ÷ 470	410 ÷ 560	490 ÷ 630	360	430	510	550

Caratteristica	Fe B 22 k	Fe B 32 k	Fe B 38 k	Fe B 44 k	B 450C
Tensione di snervamento f_y [MPa]	> 215	> 315	> 375	> 430	450
Tensione di rottura a trazione f_t [MPa]	> 335	> 490	> 450	> 540	540

4. SOLETTA

La soletta in calcestruzzo ha una larghezza pari a 900 cm ed uno spessore variabile da un minimo di 20,0 cm in corrispondenza delle zone di campata, ad un massimo di 30 cm in corrispondenza delle zone di innesto delle travi principali (continuità). Nel senso della larghezza in zona tipica è suddivisa in 2 sbalzi laterali di luce pari a 150 m e due campate centrali di luce 3,00 m.

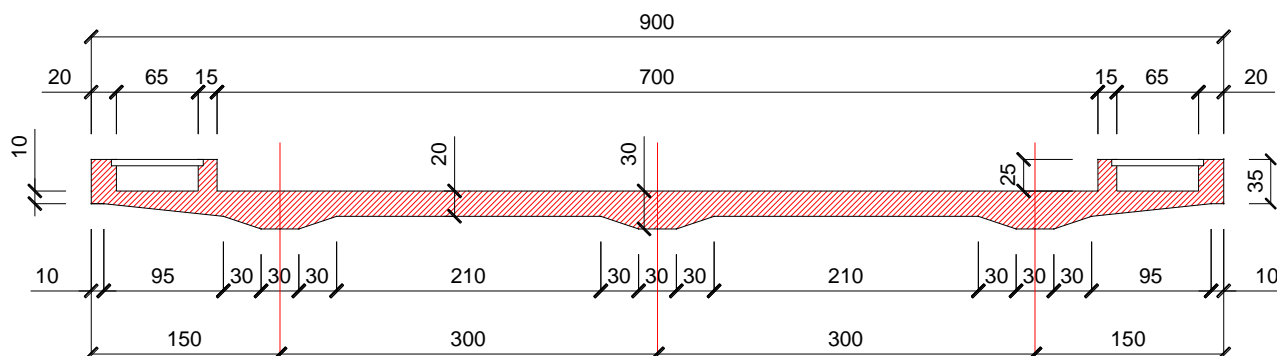


Figura 6 – Sezione trasversale

4.1 Carichi agenti e modellazione

Il calcolo delle sollecitazioni si effettua con riferimento ad una larghezza della sezione trasversale di 1 mt.

4.1.1 Peso proprio

Si considerano i seguenti carichi di peso proprio della soletta assegnati alla sezione trasversale:

$$q_{soletta,camp} = 0,20 \cdot 25,00 = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

peso proprio in corrispondenza della campata

$$q_{soletta,cont.} = 0,30 \cdot 25,00 = 7,50 \text{ kN/m}^2$$

peso proprio in corrispondenza della zona di innesto con le travi

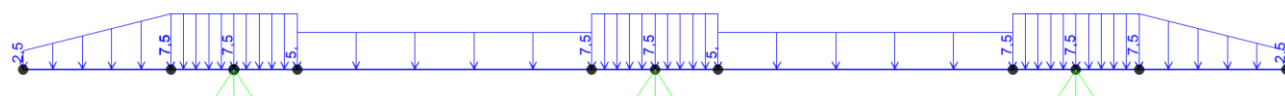


Figura 7 – Assegnazione dei carichi soletta

4.1.2 Permanenti

Si considerano i seguenti carichi permanenti assegnati alla sezione trasversale

$$q_{cordoli} = 0,25 \cdot 25,00 = 6,25 \text{ kN/m}^2$$

cordoli su un'altezza assunta conservativamente pari a 16 cm

$$q_{asfalto} = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

massicciata stradale

$$p_{rete\ di\ protezione} = 2 \times 1,00 \text{ kN/m}$$

rete di protezione

$$p_{guardrail} = 2 \times 1,50 \text{ kN/m}$$

guardrail

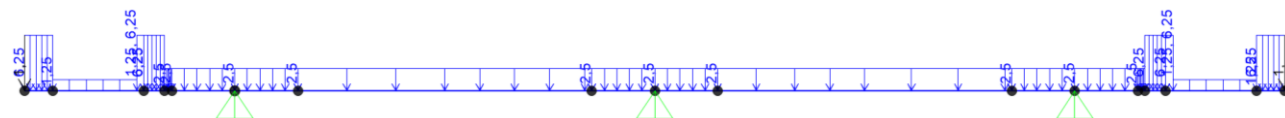
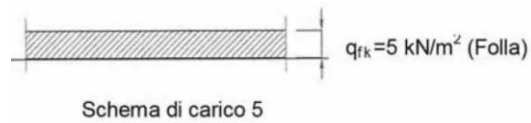


Figura 8 – Assegnazione dei carichi permanenti

4.1.3 Carichi accidentali folla

Si considerano le seguenti sezioni trasversali degli impalcati di larghezza variabile su cui agisce il carico di seguito esplicitato:



Le NTC 2018 prevedono quale carico della folla uniformemente ripartito, il valore di combinazione di 2,50 kN/mq, secondo lo schema 5.

Lo schema di calcolo adottato in fase di ripartizione è quello di trave continua con sbalzi laterali, caricata di volta in volta con carichi distribuiti della larghezza di 1,00 m, disposti in modo da determinare le condizioni di carico più gravose su entrambe le travi.

Si assume un ideale carico unitario sulle varie corsie; le reazioni possono quindi essere considerate come coefficienti che definiscono le aliquote di trasmissione dei carichi agenti sull'impalcato alle travi principali.

Condizione 1 – Folla eccentrica

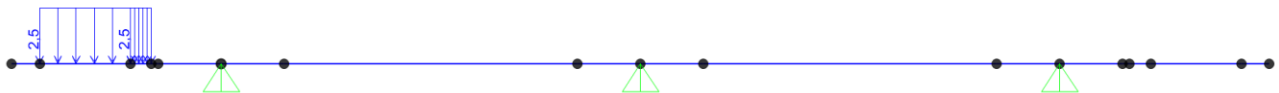


Figura 9 – Ripartizione carichi folla condizione 1

Condizione 2 – Folla centrata

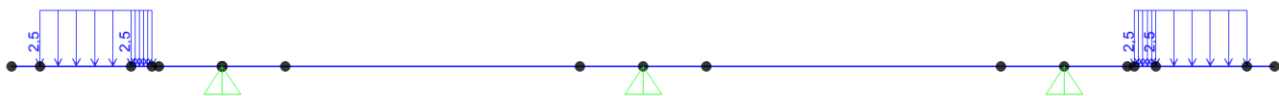


Figura 10 – Ripartizione carichi folla condizione 2

4.1.4 Carichi accidentali mezzi

ZONA TIPICA

Si considerano i carichi Q_{1k} e Q_{2k} previsti dalle NTC 2018 “Norme tecniche per le costruzioni”. L'impronta di carico di dimensioni variabili a seconda dello schema considerato viene diffusa a livello dell'asse della soletta superiore considerando che la soletta ha le seguenti caratteristiche:

- Altezza sezione di sbalzo pari a 30 cm, sezione di campata pari a 20 cm;
- Spessore della pavimentazione è di 9 cm.

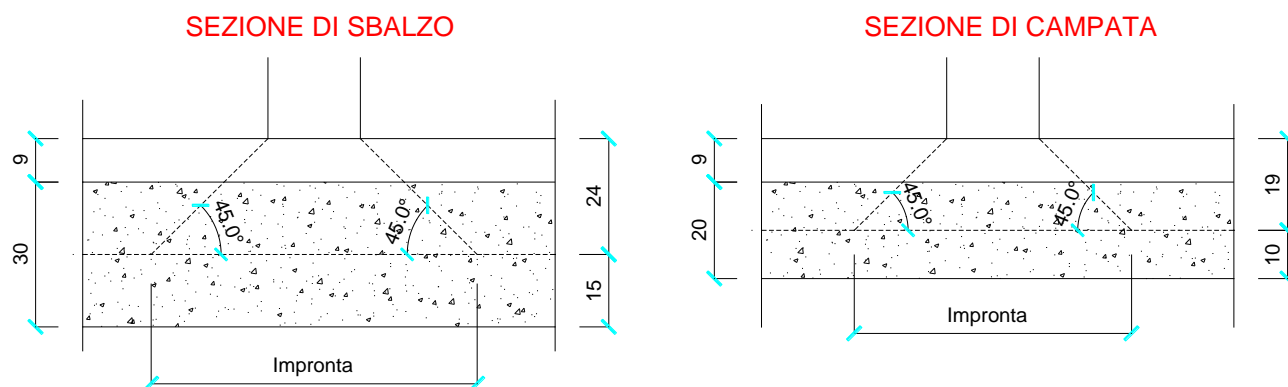
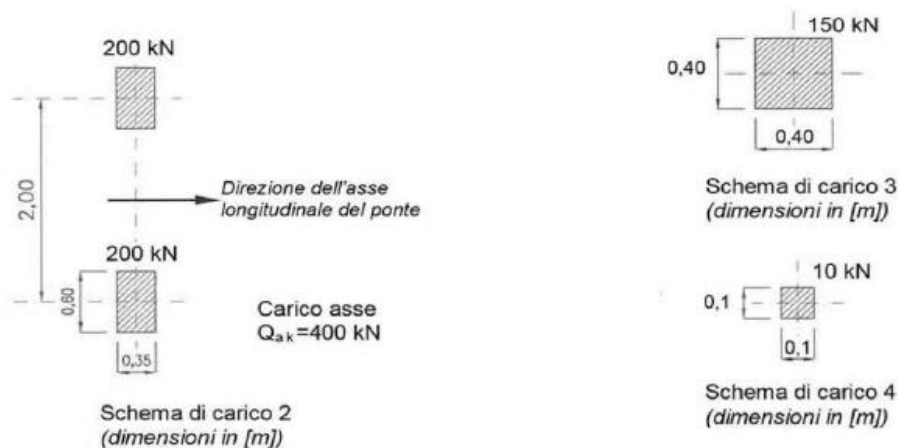


Figura 11 – Diffusione nel piano verticale

Il numero delle colonne di carichi mobili da considerare nel calcolo è quello massimo compatibile con la larghezza della superficie carrabile, tenuto conto che la larghezza di ingombro convenzionale è stabilita per ciascuna corsia in 3,00 m.



Per i marciapiedi protetti da sicurvia e per i ponti pedonali si considera il carico associato allo Schema 4.

SBALZO

Per la verifica dello sbalzo si considera lo schema di carico più gravoso tra lo schema di carico 1 e lo schema di carico 2.

Schema di carico 1

Si considera il carico tandem da 150 kN con un'impronta di carico di 40 x 40 cm diffusa fino a metà soletta:

$$F_{1k} = \frac{2 \cdot Q_{1k}}{l_i + l_t + l_d} = \frac{2 \cdot 150}{0,88 + 1,20 + 2 \cdot 0,30} = 111,94 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 0,88 \text{ m}$ larghezza impronta
 $l_t = 1,20 \text{ m}$ interasse tandem
 $l_d = 0,30 \text{ m}$ distanza asse carico / asse trave

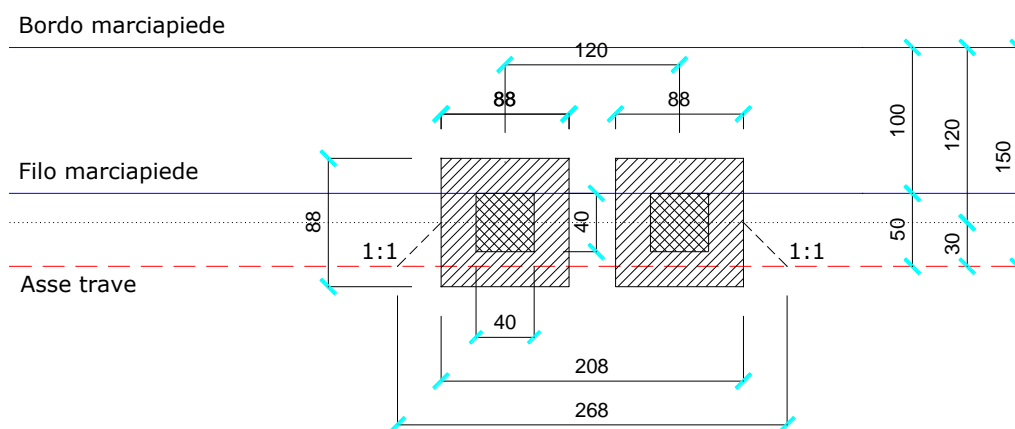


Figura 12 – Assegnazione del carico schema 1 sbalzo

Momento flettente dovuto al carico tandem

$$M_{1,Qk} = F_{1,Qk} \cdot b = 111,94 \cdot 0,30 = 33,58 \text{ kNm}$$

Momento flettente dovuto al carico distribuito

$$M_{1,qk} = q_{1,k} \cdot \frac{b^2}{2} = 9,00 \cdot \frac{0,50^2}{2} = 1,13 \text{ kNm}$$

Il momento totale sullo sbalzo per lo schema 1 è pari a:

$$M_{1,k} = M_{1,Qk} + M_{1,qk} = 33,58 + 1,13 = 34,71 \text{ kNm}$$

Schema di carico 2 – Asse trave

Si considera il carico da 200 kN con un'impronta di 35 x 60 cm diffusa fino a metà soletta:

$$F_{1k} = \frac{Q_{1k}}{l_i + l_d} = \frac{200}{0,83 + 2 \cdot 0,20} = 162,60 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 0,83 \text{ m}$ larghezza impronta
 $l_d = 1,95 \text{ m}$ distanza asse carico / asse trave

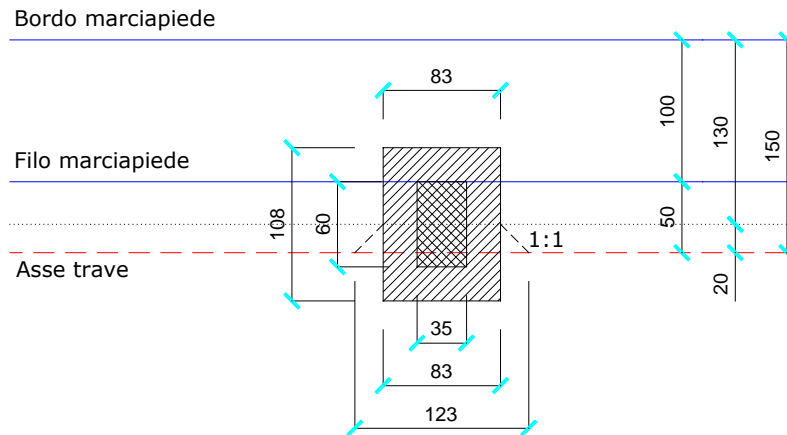


Figura 13 – Assegnazione del carico schema 2 sbalzo

Momento flettente dovuto al carico tandem

$$M_{1,Qk} = F_{1,Qk} \cdot b = 162,60 \cdot 0,20 = 32,52 \text{ kNm}$$

CAMPATA

Lo schema più gravoso per la campata è lo schema di carico 1:

1a Colonna di carico:

$$F_{1k} = \frac{2 \cdot Q_{1k}}{l_i + l_t + i_a/2} = \frac{2 \cdot 150}{0,78 + 1,20 + 3,00/2} = 86,21 \text{ kN}$$

2a Colonna di carico:

$$F_{2k} = \frac{2 \cdot Q_{2k}}{l_i + l_t + i_a/2} = \frac{2 \cdot 100}{0,78 + 1,20 + 3,00/2} = 57,47 \text{ kN}$$

dove

$l_i = 0,78 \text{ m}$ larghezza impronta
 $l_t = 1,20 \text{ m}$ interasse tandem
 $i_a = 3,00 \text{ m}$ interasse tra gli appoggi

La schematizzazione utilizzata nella modellazione è la seguente: si tratta della somma dei carichi puntali a cui si aggiungono gli effetti del carico distribuito su una larghezza unitaria.

Vehicle name: 1 CORSIA Units: KN, m, C

Load Elevation:

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01	9,	0,	
Fixed Length	0,01	9,	0,	
Fixed Length	0,5	9,	86,21	
Fixed Length	2,	9,	86,21	
Fixed Length	0,5	9,	0,	

Add Insert Modify Delete

Vehicle name: 1 CORSIA + 2 CORSIA Units: KN, m, C

Load Elevation:

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01	9,	0,	
Fixed Length	0,01	9,	0,	
Fixed Length	0,5	9,	86,21	
Fixed Length	2,	9,	86,21	
Fixed Length	0,5	9,	0,	
Fixed Length	0,5	2,5	57,47	
Fixed Length	2,	2,5	57,47	
Fixed Length	0,5	2,5	0,	

Add Insert Modify Delete

Figura 14 – Assegnazione del carico accidentale in campata

ZONA DI GIUNTO

Nelle zone terminali dell'impalcato, per la presenza del giunto, diminuisce la lunghezza di diffusione dei carichi in senso longitudinale.

SBALZO

Per la verifica dello sbalzo si considera lo schema di carico più gravoso tra lo schema di carico 1 e lo schema di carico 2.

Schema di carico 1

Si considera il carico tandem da 150 kN con un'impronta di carico di 40 x 40 cm diffusa fino a metà soletta:

$$F_{1k} = \frac{2 \cdot Q_{1k}}{l_i + l_t + l_d} = \frac{2 \cdot 150}{(0,88 - 0,24) + 1,20 + 0,30} = 140,19 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 0,64 \text{ m}$ larghezza impronta $l_t = 1,20 \text{ m}$ interasse tandem
 $l_d = 0,30 \text{ m}$ distanza asse carico / asse trave

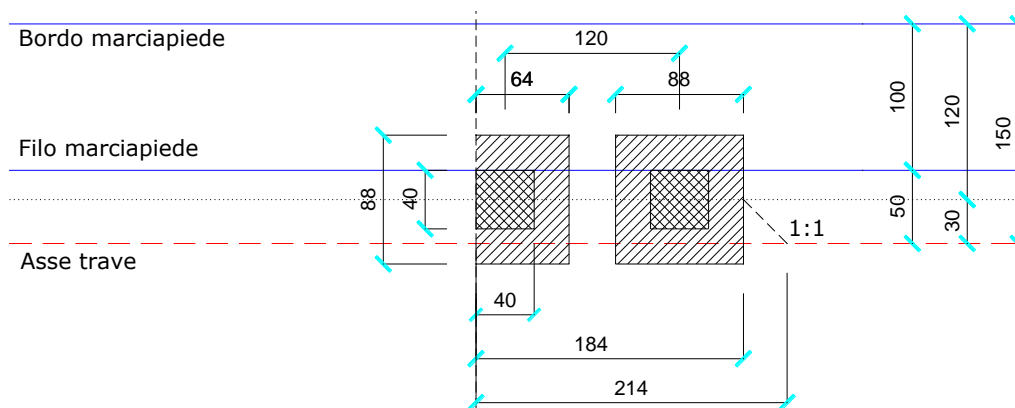


Figura 15 – Assegnazione del carico schema 1 sbalzo

Momento flettente dovuto al carico tandem

$$M_{1,Qk} = F_{1,Qk} \cdot b = 140,19 \cdot 0,30 = 42,06 \text{ kNm}$$

Momento flettente dovuto al carico distribuito

$$M_{1,qk} = q_{1,k} \cdot \frac{b^2}{2} = 9,00 \cdot \frac{0,50^2}{2} = 1,13 \text{ kNm}$$

Il momento totale sullo sbalzo per lo schema 1 è pari a:

$$M_{1,k} = M_{1,Qk} + M_{1,qk} = 42,06 + 1,13 = 43,19 \text{ kNm}$$

Schema di carico 2 – Asse trave

Si considera il carico da 200 kN con un'impronta di 35 x 60 cm diffusa fino a metà soletta:

$$F_{1k} = \frac{Q_{1k}}{l_i + l_d} = \frac{200}{(0,83 - 0,24) + 0,20} = 253,16 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 0,59 \text{ m}$ larghezza impronta

$l_d = 0,20 \text{ m}$ distanza asse carico / asse trave

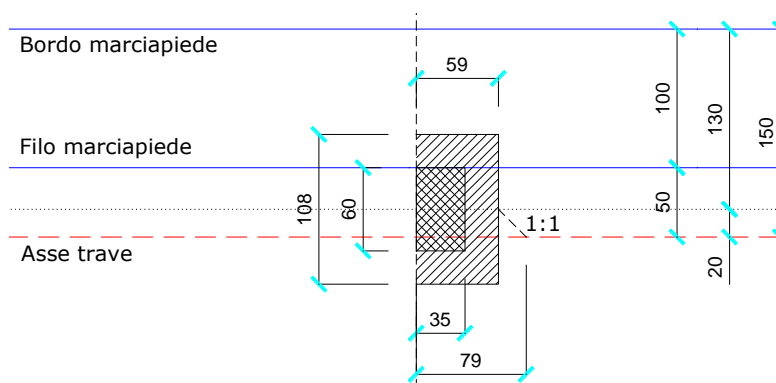


Figura 16 – Assegnazione del carico schema 2 sbalzo

Momento flettente dovuto al carico tandem

$$M_{1,Qk} = F_{1,Qk} \cdot b = 253,16 \cdot 0,20 = 50,63 \text{ kNm}$$

CAMPATA

Lo schema più gravoso per la campata è lo schema di carico 1:

1a Colonna di carico:

$$F_{1k} = \frac{2 \cdot Q_{1k}}{l_i + l_t + i_a/2} = \frac{2 \cdot 150}{0,78 + 1,20 + 3,00/4} = 109,89 \text{ kN}$$

2a Colonna di carico:

$$F_{2k} = \frac{2 \cdot Q_{2k}}{l_i + l_t + i_a/2} = \frac{2 \cdot 100}{0,78 + 1,20 + 3,00/4} = 73,26 \text{ kN}$$

dove

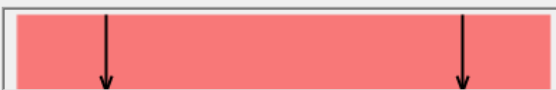
$l_i = 0,78$ m larghezza impronta

$l_t = 1,20$ m interasse tandem

$i_a = 3,00$ m interasse tra gli appoggi

La schematizzazione utilizzata nella modellazione è la seguente: si tratta della somma dei carichi puntali a cui si aggiungono gli effetti del carico distribuito su una larghezza unitaria.

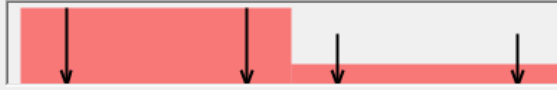
Vehicle name: 1 CORSIA GIUNTO Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		9,	0,
Fixed Length	0,01		9,	0,
Fixed Length	0,5		9,	109,89
Fixed Length	2,		9,	109,89
Fixed Length	0,5		9,	0,

Add Insert Modify Delete

Vehicle name: 1 CORSIA + 2 CORSIA GIUNTO Units: KN, m, C

Load Elevation: 

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		9,	0,
Fixed Length	0,01		9,	0,
Fixed Length	0,5		9,	109,89
Fixed Length	2,		9,	109,89
Fixed Length	0,5		9,	0,
Fixed Length	0,5		2,5	73,26
Fixed Length	2,		2,5	73,26
Fixed Length	0,5		2,5	0,

Add Insert Modify Delete

Figura 17 – Assegnazione del carico accidentale in campata

4.1.5 Urto di veicoli in svio

ZONA TIPICA

In assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si tiene conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione pari a 100 kN. Essa rappresenta l'effetto dell'impatto da trasmettere ai vincoli e deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo.

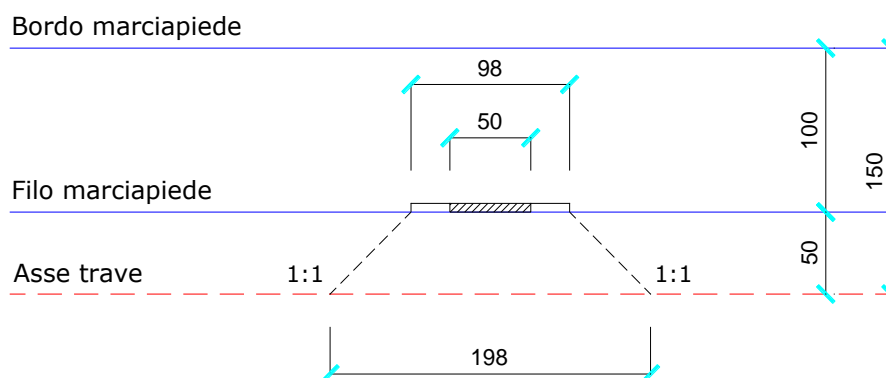


Figura 18 – Diffusione nel piano orizzontale del carico svio zona tipica

Asse trave

$$N = \frac{100}{l_i} = \frac{100}{1,98} = 50,51 \text{ kN/m}$$

$$M = N \cdot (1,00 + s_{pavimentaz.} + h_{soletta}/2) = 50,51 \cdot (1,00 + 0,09 + 0,30/2) = 62,63 \text{ kNm/m}$$

ZONA DI GIUNTO

Nelle zone terminali dell'impalcato, per la presenza del giunto diminuisce la lunghezza di diffusione dei carichi in senso longitudinale.

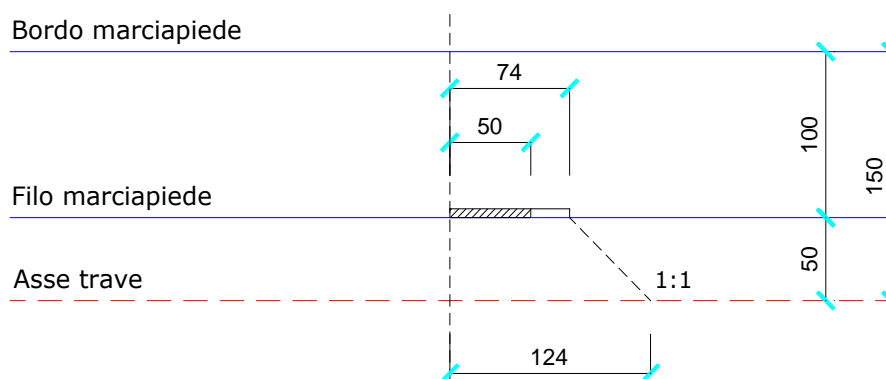


Figura 19 – Diffusione nel piano orizzontale del carico svio zona di giunto

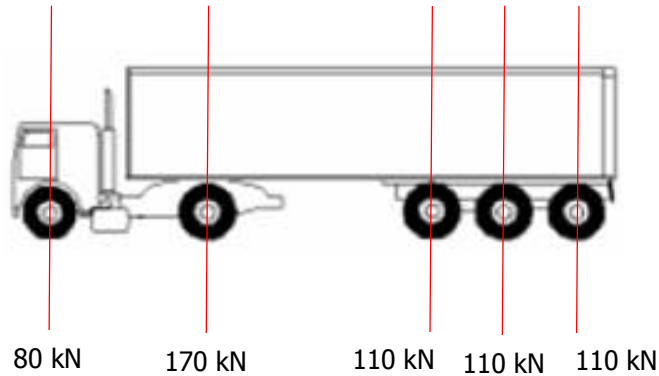
Asse trave

$$N = \frac{100}{l_i} = \frac{100}{1,24} = 80,65 \text{ kN/m}$$

$$M = N \cdot (1,00 + s_{pavimentaz.} + h_{soletta}/2) = 80,65 \cdot (1,00 + 0,09 + 0,30/2) = 100,01 \text{ kNm/m}$$

4.1.6 Carichi accidentali in esercizio da 58 ton

Secondo i dati a disposizione inviati dalla committenza i mezzi transitanti hanno un peso totale pari a 58 ton. Il mezzo utilizzato è rappresentato nella seguente figura.



Vehicle name: Units:

Load Elevation

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	80,
Fixed Length	0,01		0,	80,
Fixed Length	3,2		0,	170,
Fixed Length	5,2		0,	110,
Fixed Length	1,3		0,	110,
Fixed Length	1,3		0,	110,

Figura 20 – Schematizzazione ed assegnazione dei carichi in esercizio

Le caratteristiche del carico sono:

- Larghezza di ingombro: 2,50 m
- Lunghezza di ingombro: 12,00 m
- Peso a pieno carico: 580 kN
- Peso su mediana A (anteriore): 80 kN
- Peso su mediana B (centrale): 170 kN
- Peso su mediana C (posteriore): 3x110 kN

SBALZO – ZONA TIPICA

Per la verifica dello sbalzo si considera lo schema di carico più gravoso tra lo schema di carico che prevede una forza concentrata da 170 kN e lo schema di carico costituito dai carichi provenienti dall'asse posteriore con 3 forze da 110 kN affiancate e distanti 1,30 m.

Schema di carico 1

Si considera il carico da 170 kN con un'impronta di carico diffusa fino a metà soletta:

$$F_{1k} = \frac{Q_{ik}}{l_i + l_d} = \frac{170/2}{0,48 + 2 \cdot 0,50} = 57,43 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 0,48 \text{ m}$ larghezza impronta $l_d = 0,50 \text{ m}$ distanza asse carico / asse trave

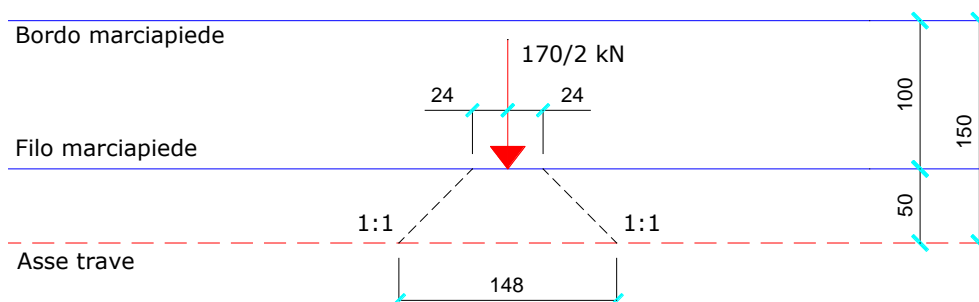


Figura 21 – Diffusione del carico da 170 kN

Momento flettente dovuto al carico

$$M_{1,Qk} = F_{1,Qk} \cdot b = 57,43 \cdot 0,50 = 28,72 \text{ kNm}$$

Schema di carico 2 – Asse trave

Si considerano tre carichi da 110 kN distanti 1,30 m con un'impronta di carico diffusa fino a metà soletta:

$$F_{1k} = \frac{Q_{ik}}{l_i + l_d} = \frac{3 \cdot 110/2}{2 \cdot (1,30 + 0,24)} = 40,44 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 4,08 \text{ m}$ larghezza impronta $l_d = 0,50 \text{ m}$ distanza asse carico / asse trave

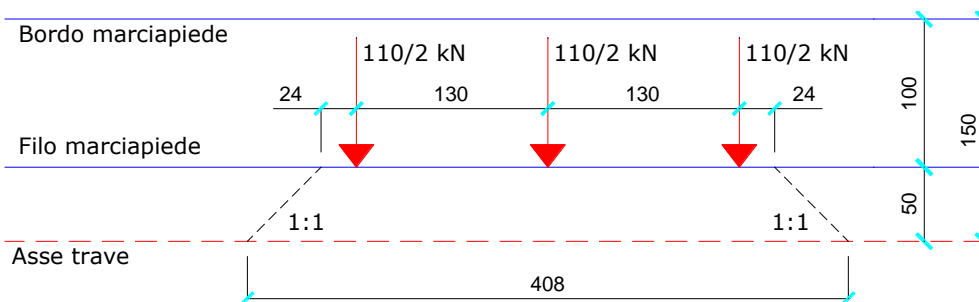


Figura 22 – Diffusione dei carichi da 110 kN

Momento flettente dovuto al carico

$$M_{1,Qk} = F_{1,Qk} \cdot b = 40,44 \cdot 0,50 = 20,22 \text{ kNm}$$

CAMPATA – ZONA TIPICA

Schema di carico 1:

$$F_{1k} = \frac{Q_{ik}}{l_i + i_a/2} = \frac{170/2}{0,38 + 3,00/2} = 45,21 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 0,38 \text{ m}$ larghezza impronta $i_a = 3,00 \text{ m}$ interasse tra gli appoggi

La schematizzazione utilizzata nella modellazione è la seguente: si tratta della somma dei carichi puntali a cui si aggiungono gli effetti del carico distribuito su una larghezza unitaria.

Vehicle name: 1 ESERCIZIO **Units:** KN, m, C

Load Elevation: [Diagram showing two downward arrows]

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	45,21
Fixed Length	2,		0,	45,21
Fixed Length	0,5		0,	0,

Vehicle name: 1+1 ESERCIZIO **Units:** KN, m, C

Load Elevation: [Diagram showing four downward arrows]

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	45,21
Fixed Length	2,		0,	45,21
Fixed Length	0,5		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	45,21
Fixed Length	2,		0,	45,21
Fixed Length	0,5		0,	0,

Figura 23 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carico da 170 kN

Schema di carico 2:

$$F_{1k} = \frac{3 \cdot Q_{ik}}{l_i + l_t + i_a/2} = \frac{3 \cdot 110/2}{0,38 + 2 \cdot 1,30 + 3,00/2} = 36,83 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 0,38 \text{ m}$ larghezza impronta $l_t = 2,60 \text{ m}$ interasse longitudinale carico
 $i_a = 3,00 \text{ m}$ interasse tra gli appoggi

La schematizzazione utilizzata nella modellazione è la seguente: si tratta della somma dei carichi puntali a cui si aggiungono gli effetti del carico distribuito su una larghezza unitaria.

Vehicle name: 2 ESERCIZIO Units: KN, m, C

Load Elevation:

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	36,83
Fixed Length	2,		0,	36,83
Fixed Length	0,5		0,	0,

Add Insert Modify Delete

Vehicle name: 2+2 ESERCIZIO Units: KN, m, C

Load Elevation:

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	36,83
Fixed Length	2,		0,	36,83
Fixed Length	0,5		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	36,83
Fixed Length	2,		0,	36,83
Fixed Length	0,5		0,	0,

Add Insert Modify Delete

Figura 24 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carichi da 110 kN

SBALZO – ZONA DI GIUNTO

Nelle zone terminali dell'impalcato, per la presenza del giunto, diminuisce la lunghezza di diffusione dei carichi in senso longitudinale.

Per la verifica dello sbalzo si considera lo schema di carico più gravoso tra lo schema di carico che prevede una forza concentrata da 170 kN e lo schema di carico costituito dai carichi provenienti dall'asse posteriore con 3 forze da 110 kN affiancate e distanti 1,30 m.

Schema di carico 1

Si considera il carico da 170 kN con un'impronta di carico diffusa fino a metà soletta:

$$F_{1k} = \frac{Q_{ik}}{l_i + l_d} = \frac{170/2}{0,24 + 0,50} = 114,87 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 0,24 \text{ m}$ larghezza impronta $l_d = 0,50 \text{ m}$ distanza asse carico / asse trave

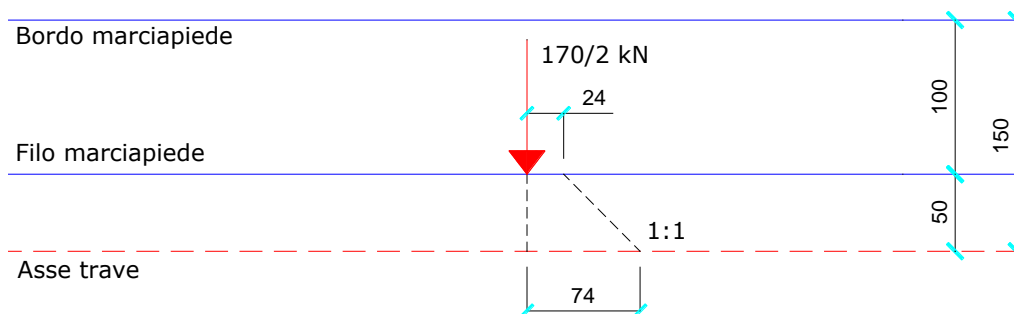


Figura 25 – Diffusione del carico da 170 kN

Momento flettente dovuto al carico

$$M_{1,Qk} = F_{1,Qk} \cdot b = 114,87 \cdot 0,50 = 57,43 \text{ kNm}$$

Schema di carico 2 – Asse trave

Si considerano tre carichi da 110 kN distanti 1,30 m con un'impronta di carico diffusa fino a metà soletta:

$$F_{1k} = \frac{Q_{ik}}{l_i + l_d} = \frac{3 \cdot 110/2}{2 \cdot 1,30 + 0,24} = 49,40 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 3,34 \text{ m}$ larghezza impronta

$l_d = 0,50 \text{ m}$ distanza asse carico / asse trave

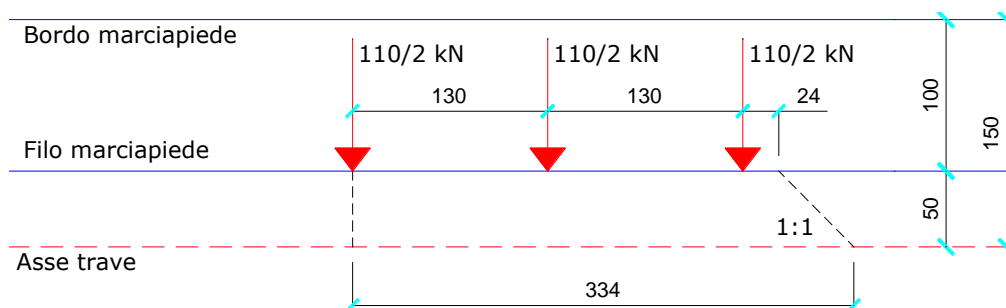


Figura 26 – Diffusione dei carichi da 110 kN

Momento flettente dovuto al carico

$$M_{1,Qk} = F_{1,Qk} \cdot b = 49,40 \cdot 0,50 = 24,70 \text{ kNm}$$

CAMPATA – ZONA DI GIUNTO

Schema di carico 1:

$$F_{1k} = \frac{Q_{ik}}{l_i + i_a/2} = \frac{170/2}{0,38 + 3,00/4} = 75,22 \text{ kN}$$

dove

$l_i = 0,38 \text{ m}$ larghezza impronta

$i_a = 3,00 \text{ m}$ interasse tra gli appoggi

La schematizzazione utilizzata nella modellazione è la seguente: si tratta della somma dei carichi puntali a cui si aggiungono gli effetti del carico distribuito su una larghezza unitaria.

Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po
Verifica statica

Vehicle name: 1G ESERCIZIO Units: KN, m, C

Load Elevation:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	75,22
Fixed Length	2,		0,	75,22
Fixed Length	0,5		0,	0,

Add Insert Modify Delete

Vehicle name: 1G+1G ESERCIZIO Units: KN, m, C

Load Elevation:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	75,22
Fixed Length	2,		0,	75,22
Fixed Length	0,5		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	75,22
Fixed Length	2,		0,	75,22
Fixed Length	0,5		0,	0,

Add Insert Modify Delete

Figura 27 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carico da 170 kN

Schema di carico 2:

$$F_{1k} = \frac{3 \cdot Q_{ik}}{l_i + l_t + i_a/2} = \frac{3 \cdot 110/2}{0,38 + 2 \cdot 1,30 + 3,00/4} = 44,24 \text{ kN}$$

dove

$l_i = 0,38 \text{ m}$ larghezza impronta $l_t = 2,60 \text{ m}$ interasse longitudinale carico
 $i_a = 3,00 \text{ m}$ interasse tra gli appoggi

La schematizzazione utilizzata nella modellazione è la seguente: si tratta della somma dei carichi puntali a cui si aggiungono gli effetti del carico distribuito su una larghezza unitaria.

Vehicle name: 2G ESERCIZIO Units: KN, m, C

Load Elevation:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	44,24
Fixed Length	2,		0,	44,24
Fixed Length	0,5		0,	0,

Add Insert Modify Delete

Vehicle name: 2G+2G ESERCIZIO Units: KN, m, C

Load Elevation:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	44,24
Fixed Length	2,		0,	44,24
Fixed Length	0,5		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	44,24
Fixed Length	2,		0,	44,24
Fixed Length	0,5		0,	0,

Add Insert Modify Delete

Figura 28 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carichi da 110 kN

4.1.7 Carichi accidentali in esercizio da 45 ton

Il mezzo utilizzato è rappresentato nella seguente figura.

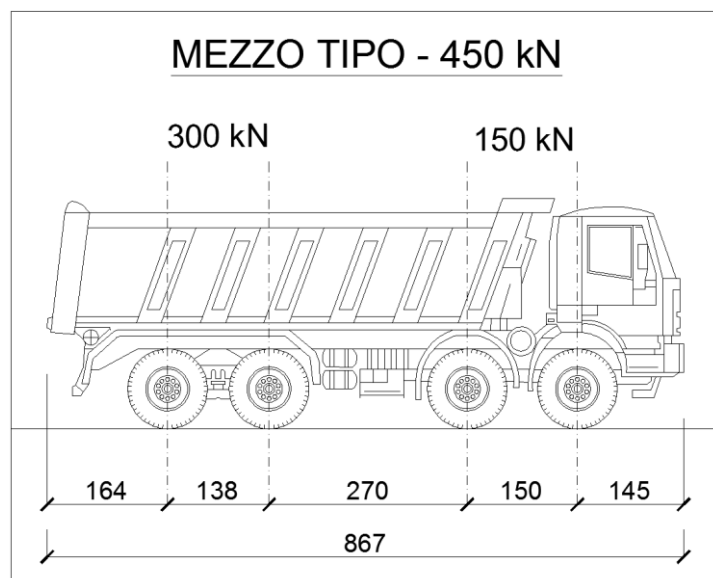


Figura 29 – Schema autocarro da 450 kN

Le caratteristiche del carico sono:

- Larghezza di ingombro: 2,50 m
- Lunghezza di ingombro: 8,67 m
- Peso a pieno carico: 450 kN
- Peso su mediana A (posteriore): 300 kN
- Peso su mediana B (anteriore): 150 kN

SBALZO

Per la verifica dello sbalzo si considera lo schema di carico che prevede due forze concentrate da $150/4 = 37,5$ kN che corrispondono agli scarichi del singolo asse posteriore sulla singola ruota.

Si considera un'impronta di carico avente dimensioni di 40×15 cm ed una distanza tra le due ruote costituenti l'asse posteriore pari a 20 cm.

Schema di carico 1

Si considera un'impronta di carico diffusa fino a metà soletta:

$$F_{1k} = \frac{2 \cdot Q_{ik}}{l_{diffus.}} = \frac{2 \cdot 37,50}{1,53} = 49,02 \text{ kN}$$

Dove:

$l_{diffusione} = 1,53$ m larghezza impronta

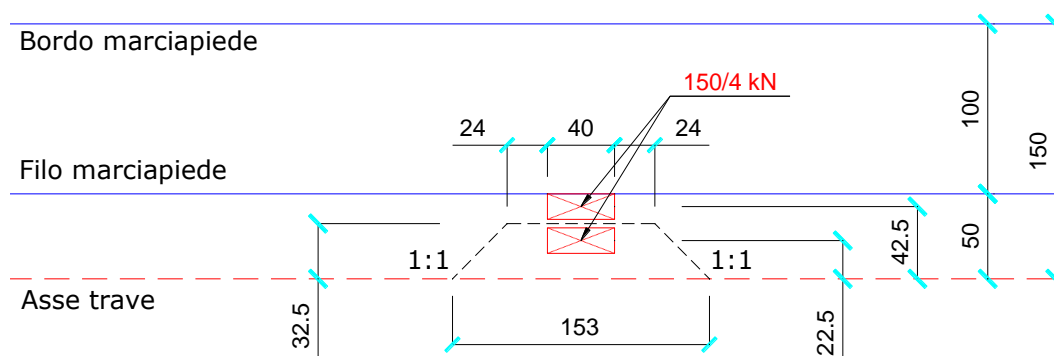


Figura 30 – Diffusione del carico dovuto ad un asse del mezzo da 450 kN

Momento flettente sezione di sbalzo

$$M_{1,Qk} = F_{1,Qk} \cdot b = 49,02 \cdot 0,325 = 15,93 \text{ kNm}$$

CAMPATA

Schema di carico 1

$$F_{1k} = \frac{2 \cdot Q_{ik}}{l_i + i_a/2} = \frac{2 \cdot 37,5}{0,38 + 3,00/2} = 39,89 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 0,38$ m larghezza impronta $i_a = 3,00$ m interasse tra gli appoggi

La schematizzazione utilizzata nella modellazione è la seguente: si tratta della somma dei carichi puntali a cui si aggiungono gli effetti del carico distribuito su una larghezza unitaria.

Vehicle name: 1 45ton Units: KN, m, C

Load Elevation: [Diagram showing two downward arrows]

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	39,89
Fixed Length	2,		0,	39,89
Fixed Length	0,5		0,	0,

Add Insert Modify Delete

Vehicle name: 1+1 45ton Units: KN, m, C

Load Elevation: [Diagram showing four downward arrows]

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	39,89
Fixed Length	2,		0,	39,89
Fixed Length	1,		0,	39,89
Fixed Length	2,		0,	39,89
Fixed Length	0,5		0,	0,

Add Insert Modify Delete

Figura 31 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carico asse da 150 kN

SBALZO – ZONA DI GIUNTO

Nelle zone terminali dell'impalcato, per la presenza del giunto, diminuisce la lunghezza di diffusione dei carichi in senso longitudinale.

Per la verifica dello sbalzo si considera lo schema di carico che prevede due forze concentrate da $150/4 = 37,5$ kN che corrispondono agli scarichi del singolo asse posteriore sulla singola ruota.

Si considera un'impronta di carico avente dimensioni di 40×15 cm ed una distanza tra le due ruote costituenti l'asse posteriore pari a 20 cm.

Schema di carico 1

Si considera un'impronta di carico diffusa fino a metà soletta:

$$F_{1k} = \frac{2 \cdot Q_{ik}}{l_{diffus.}} = \frac{2 \cdot 37,50}{0,97} = 77,32 \text{ kN}$$

Dove:

$l_{diffusione} = 0,97$ m larghezza impronta

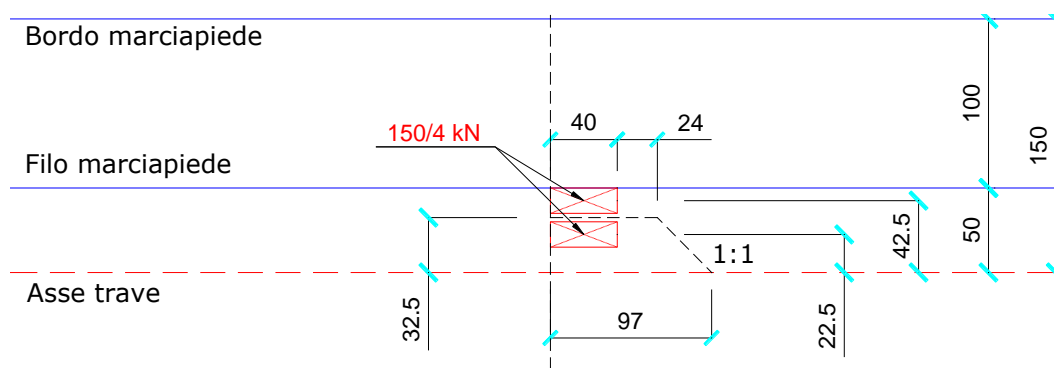


Figura 32 – Diffusione del carico dovuto ad un asse del mezzo da 450 kN

Momento flettente sezione di sbalzo

$$M_{1,Qk} = F_{1,Qk} \cdot b = 77,32 \cdot 0,325 = 25,13 \text{ kNm}$$

CAMPATA – ZONA DI GIUNTO

Schema di carico 1

$$F_{1k} = \frac{2 \cdot Q_{ik}}{l_i + i_a/2} = \frac{2 \cdot 37,5}{0,38 + 3,00/4} = 66,37 \text{ kN}$$

Dove:

$l_i = 0,38 \text{ m}$ larghezza impronta $i_a = 3,00 \text{ m}$ interasse tra gli appoggi

La schematizzazione utilizzata nella modellazione è la seguente: si tratta della somma dei carichi puntali a cui si aggiungono gli effetti del carico distribuito su una larghezza unitaria.

Vehicle name: 1 45ton g Units: KN, m, C

Load Elevation: [Diagram showing two downward arrows]

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	66,37
Fixed Length	2,		0,	66,37
Fixed Length	0,5		0,	0,

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

Vehicle name: 1+1 45ton g Units: KN, m, C

Load Elevation: [Diagram showing four downward arrows]

Loads:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,01		0,	0,
Fixed Length	0,5		0,	66,37
Fixed Length	2,		0,	66,37
Fixed Length	1,		0,	66,37
Fixed Length	2,		0,	66,37
Fixed Length	0,5		0,	0,

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

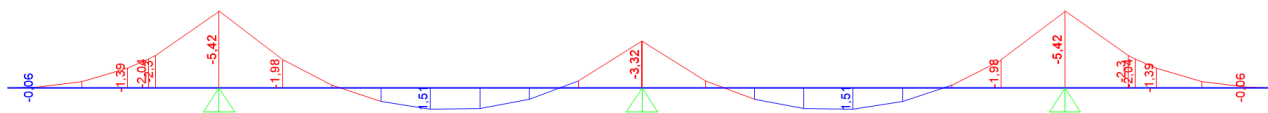
Figura 33 – Assegnazione del carico accidentale in campata Schema carico asse da 150 kN

4.2 Sollecitazioni flettenti

ZONA TIPICA

Con riferimento alla modellazione indicata, nella seguente tabella sono indicate le sollecitazioni flettenti caratteristiche distinte per elemento strutturale e per condizione di carico.

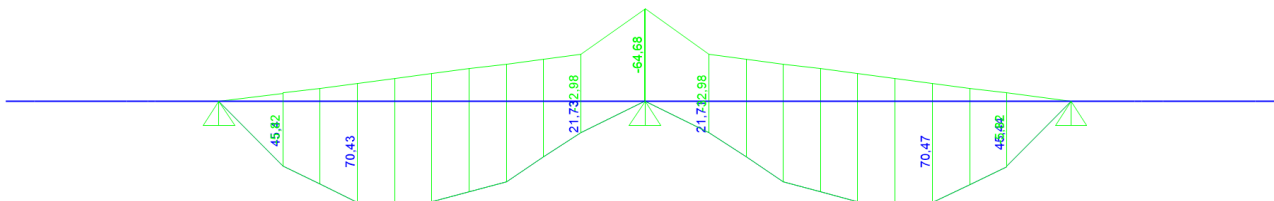
Sollecitazioni flettenti – Soletta



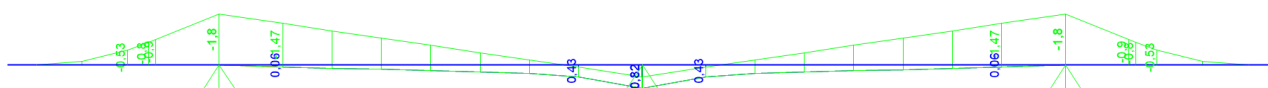
Sollecitazioni flettenti – Permanenti



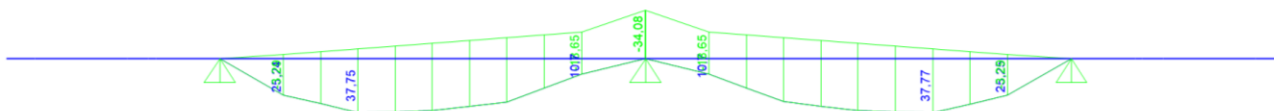
Sollecitazioni flettenti – Accidentali mezzi NTC



Sollecitazioni flettenti – Accidentali folla



Sollecitazioni flettenti – Accidentali mezzi da 58 ton



Sollecitazioni flettenti – Accidentali mezzi da 45 ton

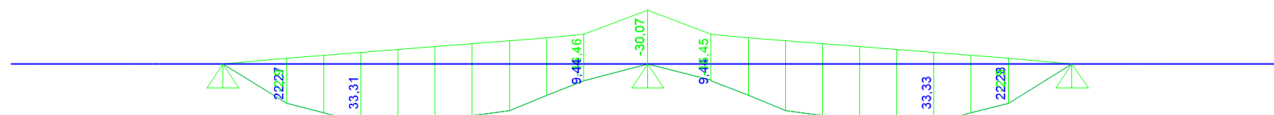


Tabella delle sollecitazioni flettenti

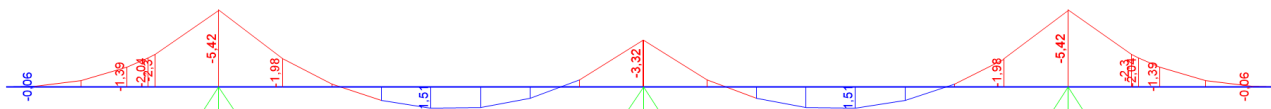
	Peso Proprio [kNm/m]	Permanenti [kNm/m]	Accidentali mezzi [kNm/m]	Accidentali mezzi 58 ton [kNm/m]	Accidentali mezzi 45 ton [kNm/m]	Accidentali folla [kNm/m]	Svio [kNm/m]
Sbalzo	-5,42	-5,06	-34,71	-28,72	-15,93	-1,80	-62,63 *
Campata	2,81 (1/16)	1,69 (1/16)	70,43	37,77	33,33	0,43	-
Continuità	-3,32	-0,42	-64,68	-34,08	-30,07	Contributo di segno opposto	-

* associato ad una N di trazione pari a 50,51 kN

ZONA DI GIUNTO

Con riferimento alla modellazione indicata, nella seguente tabella sono indicate le sollecitazioni flettenti caratteristiche distinte per elemento strutturale e per condizione di carico.

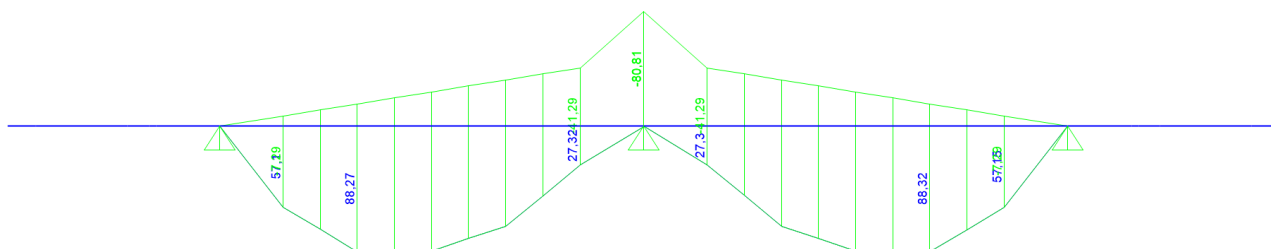
Sollecitazioni flettenti - Soletta



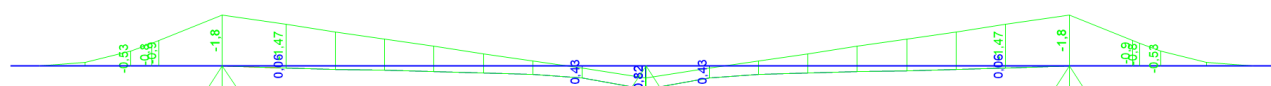
Sollecitazioni flettenti - Permanenti



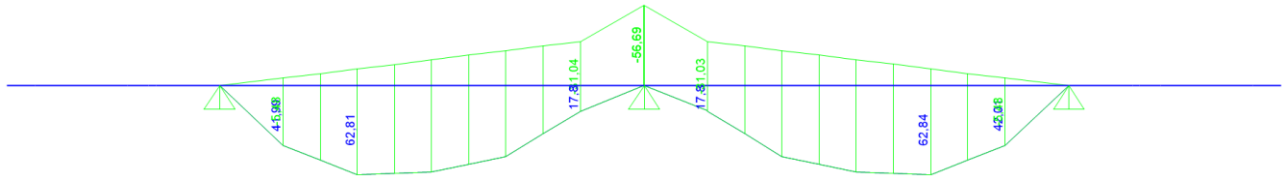
Sollecitazioni flettenti - Accidentali mezzi NTC



Sollecitazioni flettenti - Accidentali folla



Sollecitazioni flettenti - Accidentali mezzi da 58 ton



Sollecitazioni flettenti - Accidentali mezzi da 45 ton

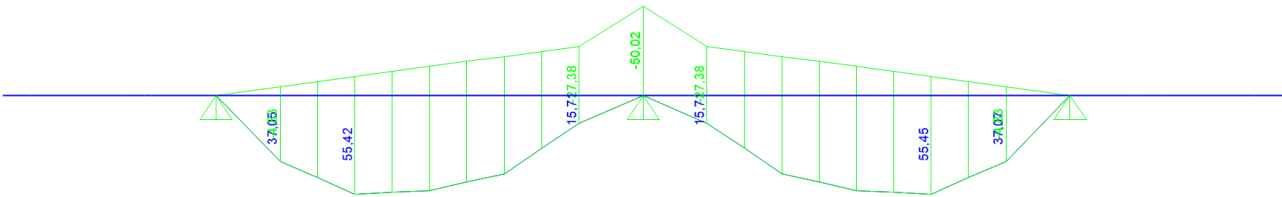


Tabella delle sollecitazioni flettenti

	Peso Proprio [kNm/m]	Permanenti [kNm/m]	Accidentali mezzi [kNm/m]	Accidentali mezzi 58 ton [kNm/m]	Accidentali mezzi 45 ton [kNm/m]	Accidentali folla [kNm/m]	Svio [kNm/m]
Sbalzo	-5,42	-5,06	-43,19	-57,43	-25,13	-1,80	-100,01 *
Campata	2,81 (1/16)	1,69 (1/16)	88,27	62,84	55,45	0,43	-
Continuità	-3,32	-0,42	-80,81	-56,69	-50,02	Contributo di segno opposto	-

* associato ad una N di trazione pari a 80,65 kN

4.3 Sbalzo zona tipica sollecitazioni NTC

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = -5,42 \cdot 1,35 - 5,06 \cdot 1,50 - (34,71 + 1,80) \cdot 1,35 = -64,20 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = -5,42 - 5,06 - 34,71 - 1,80 = -46,99 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = -5,42 - 5,06 - (34,71 + 1,80) \cdot 0,75 = -37,86 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = -5,42 - 5,06 - (34,71 + 1,80) \cdot 0,20 = -17,78 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE ECCEZIONALE

Il momento flettente agente secondo la combinazione Eccezionale è pari a:

$$M_{Ed, ECCEZIONALE} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} + M_{svio} = -5,42 - 5,06 - 34,71 - 1,80 - 62,63 = -109,62 \text{ kNm/m}$$

4.3.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk,0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk,0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ε_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ε_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza		LC2	1,20	[-]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	210.000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio		e_{yd}	0,001518	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio		e_{su}	0,0100	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio		f_{yd}	318,84	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS		s_s	352	[MPa]

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	5,42	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	5,06	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	36,51	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]

ARMATURA TESA

Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	8	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]

ARMATURA COMPRESSA

Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	10	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	4	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]

DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE

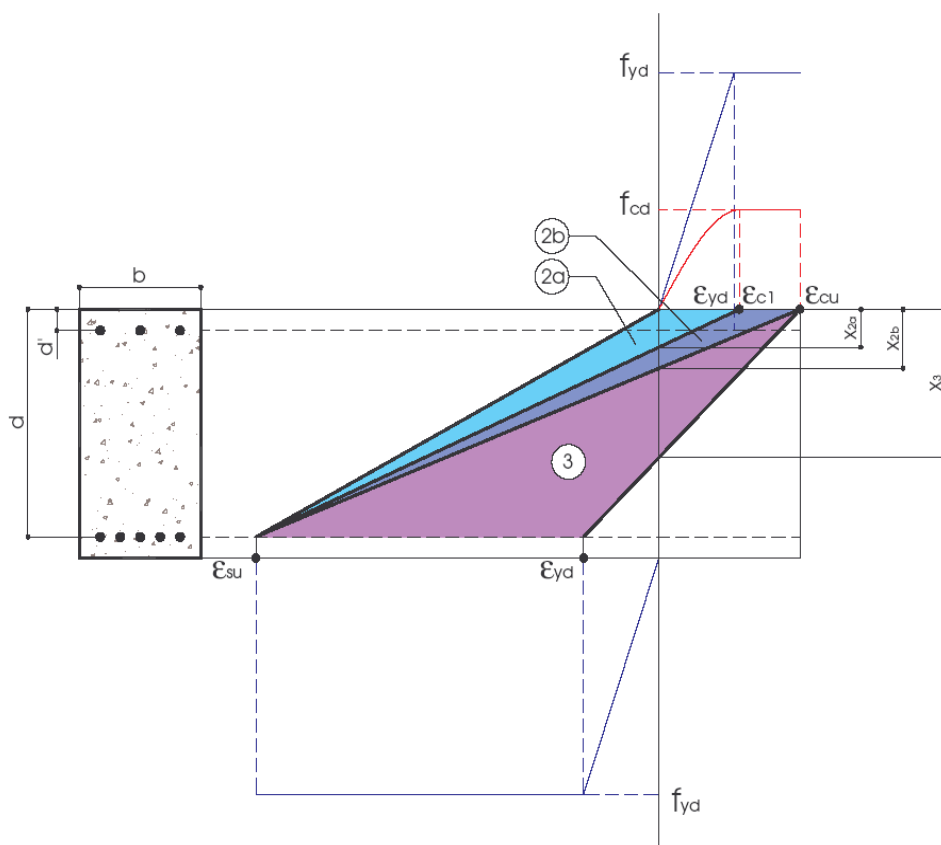
Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,1678	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,1538	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,1953	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,2717	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	0,1013	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,9373	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,1134	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2569	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,6893	[-]
	ω'_3	0,2742	[-]

VERIFICA A SLU

CAMPO 2b

Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ	0,2064	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	53,66	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\varepsilon_{c,max}$	0,0026	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\varepsilon_{s,max}$	0,0100	[-]
Coefficiente di riempimento	β	0,7436	[-]
Coefficiente di baricentro	κ	0,3939	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s	0,4360	[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s	139,01	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ε'_s	0,0007	[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	121,68	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	64,20	[kNm]

I R 0,53



4.3.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA				
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	46,99	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,35	σ_c	4,37 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	35,87 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,36	σ_s	127,05 [MPa]

4.3.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE

Controllo tensionale per la Combinazione Frequente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	37,86	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	3,52	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	28,91	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	102,37	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo **C25/30** $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione **XD1**
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura **Poco sensibile**

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio **B450C** $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 102,37 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 300 mm

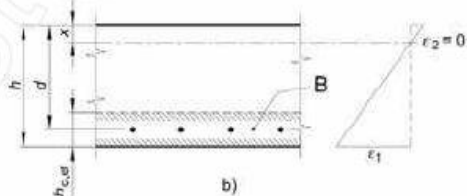
altezza utile d 260 mm

asse neutro x 88,44 mm

caso Fig. C4.1.9 b

hc,ef 70,52 mm

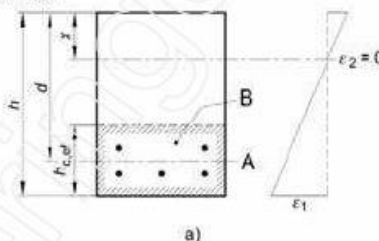
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

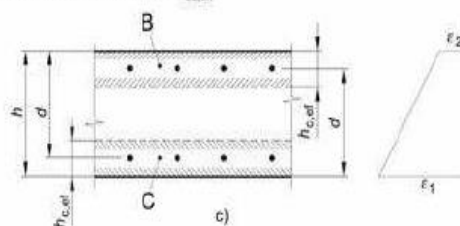
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 70.519 mm² A_s 1.608 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm} 0,0003 -**

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 8 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm**Dsmax** 255,25 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):****wd = $\epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max}$ = 0,07 mm****Valore limite di apertura della fessura:****w2 = 0,30 mm VERIFICA SODDISFATTA**

4.3.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP

Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	17,78	[kNm]		
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]		
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]		
Copriferro	d'	40	[mm]		
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]		
Area dell'armatura tesa	A _s	1.608	[mm ²]		
Area dell'armatura compressa	A' _s	314	[mm ²]		
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]		
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]		
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ _{c,q.p.}	9,34	[MPa]		
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	352	[MPa]		
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,18	σ _c	1,65	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ _s	13,58	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa			σ _s	48,08	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

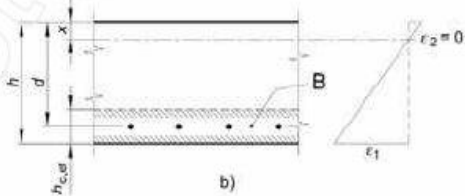
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 48,08 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 300 mmaltezza utile d 260 mmasse neutro x 88,44 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 70,52 mm

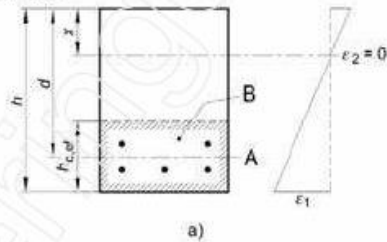
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

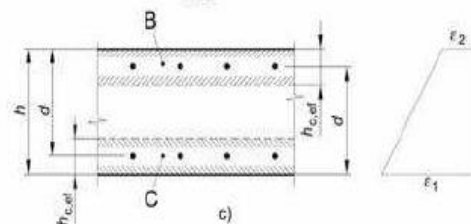
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 70.519 mm² A_s 1.608 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0001** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 8 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm **D_{smax}** 255,25 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,04 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_l = 0,20 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

4.3.5 Verifica armature trasversali – Combinazione Eccezionale

Il momento flettente agente secondo la combinazione eccezionale è pari a:

$$M_{Ed, ECCEZ} = -109,62 \text{ kNm/m}$$

$$N_{Ed, ECCEZ} = N_{urto} = 50,51 \text{ kN/m}$$

Titolo : SBALZO - COMBINAZIONE ECCEZIONALE

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	16,08	4
2	3,14	26

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

☒ Centro ☐ Baricentro cls

☐ Coord.[cm] xN yN

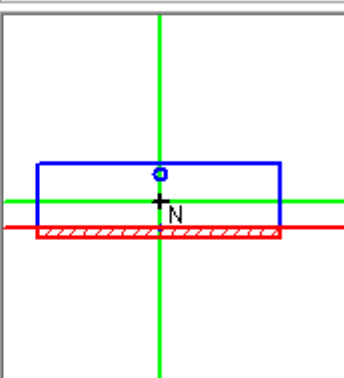
Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

☒ Rettan.re ☐ Trapezi

☐ a T ☐ Circolare

☐ Rettangoli ☐ Coord.



Metodo di calcolo

☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-

☐ Metodo n

Tipo flessione

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.

Calcola MRd

Dominio M-N

L₀ cm

Col. modello

☐ Precompresso

Materiali

FeB44k C25/30

ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰

f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰

E_s N/mm² f_{cd} ‰

E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?

ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰

σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰

τ_{c1} ‰

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ε_c ‰

ε_s ‰

d cm

x x/d

δ

Indice di resistenza

$$I_R = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{109,62}{166,00} = 0,66$$

→

La sezione è verificata

4.4 Campata zona tipica sollecitazioni NTC

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = 2,81 \cdot 1,35 + 1,69 \cdot 1,50 + (70,43 + 0,43) \cdot 1,35 = 101,99 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = 2,81 + 1,69 + 70,43 + 0,43 = 75,36 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = 2,81 + 1,69 + (70,43 + 0,43) \cdot 0,75 = 57,65 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = 2,81 + 1,69 + (70,43 + 0,43) \cdot 0,20 = 18,67 \text{ kNm/m}$$

4.4.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE base (cm) 100

altezza (cm) 20

CONDIZIONI AMBIENTALI Aggressive (XD1)

ARMATURA Ferri sup. 3 ϕ 16

Ferri inf. 10 ϕ 16

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk;0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk;0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ε_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ε_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza		LC2	1,20	[-]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	210.000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio		e_{yd}	0,001518	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio		e_{su}	0,0100	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio		f_{yd}	318,84	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS		s_s	352	[MPa]

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	2,81	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	1,69	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	70,86	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	160	[mm]

ARMATURA TESA

Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]

ARMATURA COMPRESSA

Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	3	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]

DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE

Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,3408	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,2500	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,3000	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,4415	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	-0,6586	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,0823	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,0928	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2152	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,7924	[-]
	ω'_3	0,5122	[-]

VERIFICA A SLU

CAMPO 3a

Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ	0,3449	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	55,18	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\varepsilon_{c,max}$	0,0035	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\varepsilon_{s,max}$	0,0066	[-]
Coefficiente di riempimento	β	0,8000	[-]
Coefficiente di baricentro	κ	0,4000	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s	0,6343	[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s	202,23	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ε'_s	0,0010	[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	86,23	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	101,99	[kNm]



4.4.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE base (cm) 100

altezza (cm) 20

CONDIZIONI AMBIENTALI Aggressive (XD1)

ARMATURA Ferri sup. 3 ϕ 16

Ferri inf. 10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA

Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	75,36	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	160	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	69,93	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	3,6677E+08	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	I R	1,15	σ_c 14,37 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s 92,26 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,79	σ_s 277,59 [MPa]

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

4.4.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE base (cm) 100

altezza (cm) 20

CONDIZIONI AMBIENTALI Aggressive (XD1)

ARMATURA Ferri sup. 3 ϕ 16

Ferri inf. 10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	57,65	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	160	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	69,93	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	3,6677E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	10,99	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	70,57	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	212,33	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo **C25/30** $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione **XD1**
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura **Poco sensibile**

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio **B450C** $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 212,33 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 200 mm

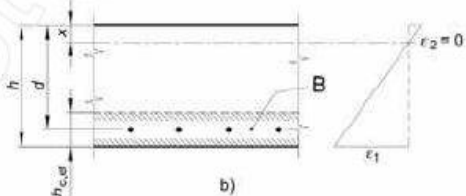
altezza utile d 160 mm

asse neutro x 69,93 mm

caso Fig. C4.1.9 b

hc,ef 43,36 mm

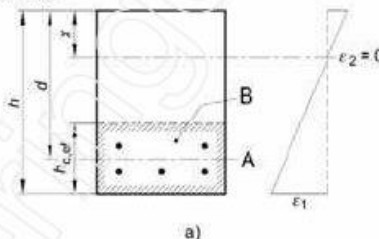
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

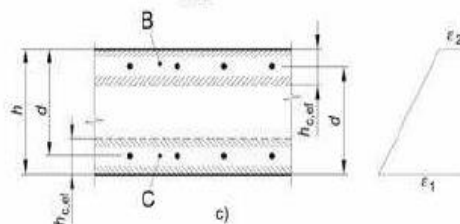
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 43.355 mm² A_s 2.011 mm² ρ_{eff} 0,05 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm} 0,0008 -**

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 10 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm**Dsmax** 194,65 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,16 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_2 = 0,30 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

4.4.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE base (cm) 100

altezza (cm) 20

CONDIZIONI AMBIENTALI Aggressive (XD1)

ARMATURA Ferri sup. 3 ϕ 16

Ferri inf. 10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP

Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	18,67	[kNm]		
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]		
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]		
Copriferro	d'	40	[mm]		
Altezza utile della sezione	d'	160	[mm]		
Area dell'armatura tesa	A _s	2.011	[mm ²]		
Area dell'armatura compressa	A' _s	603	[mm ²]		
Posizione dell'asse neutro	x	69,93	[mm]		
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	3,6677E+08	[mm ⁴]		
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ _{c,q.p.}	9,34	[MPa]		
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	352	[MPa]		
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,38	σ _c	3,56	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ _s	22,86	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa			σ _s	68,78	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

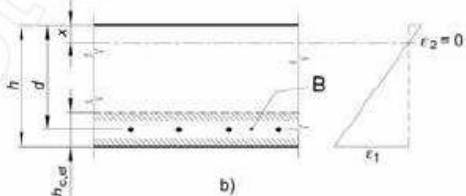
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 68,78 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 200 mmaltezza utile d 160 mmasse neutro x 69,93 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 43,36 mm

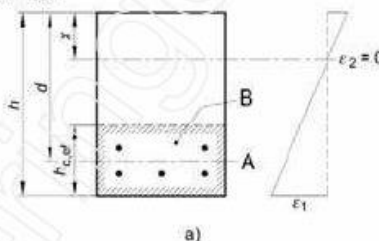
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

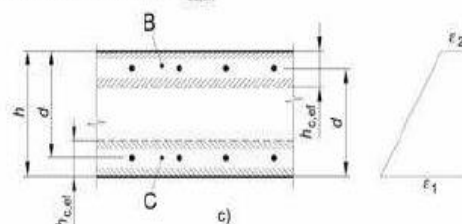
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 43.355 mm² A_s 2.011 mm² ρ_{eff} 0,05 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0002** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 10 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm **D_{smax}** 194,65 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):** **w_d** = $\epsilon_{sm} \cdot \Delta_{smax}$ = **0,04** mm**Valore limite di apertura della fessura:** **w_l** = **0,20** mm **VERIFICA SODDISFATTA**

4.5 Continuità zona tipica sollecitazioni NTC

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = -3,32 \cdot 1,35 - 0,42 \cdot 1,50 - 64,68 \cdot 1,35 = -92,43 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = -3,32 - 0,42 - 64,68 = -68,42 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = -3,32 - 0,42 - 64,68 \cdot 0,75 = -52,25 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = -3,32 - 0,42 - 64,68 \cdot 0,20 = -16,68 \text{ kNm/m}$$

4.5.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk,0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk,0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ε_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ε_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza		LC2	1,20	[-]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	210.000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio		e_{yd}	0,001518	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio		e_{su}	0,0100	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio		f_{yd}	318,84	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS		s_s	352	[MPa]

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	3,32	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	0,42	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	64,68	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po
	Verifica statica

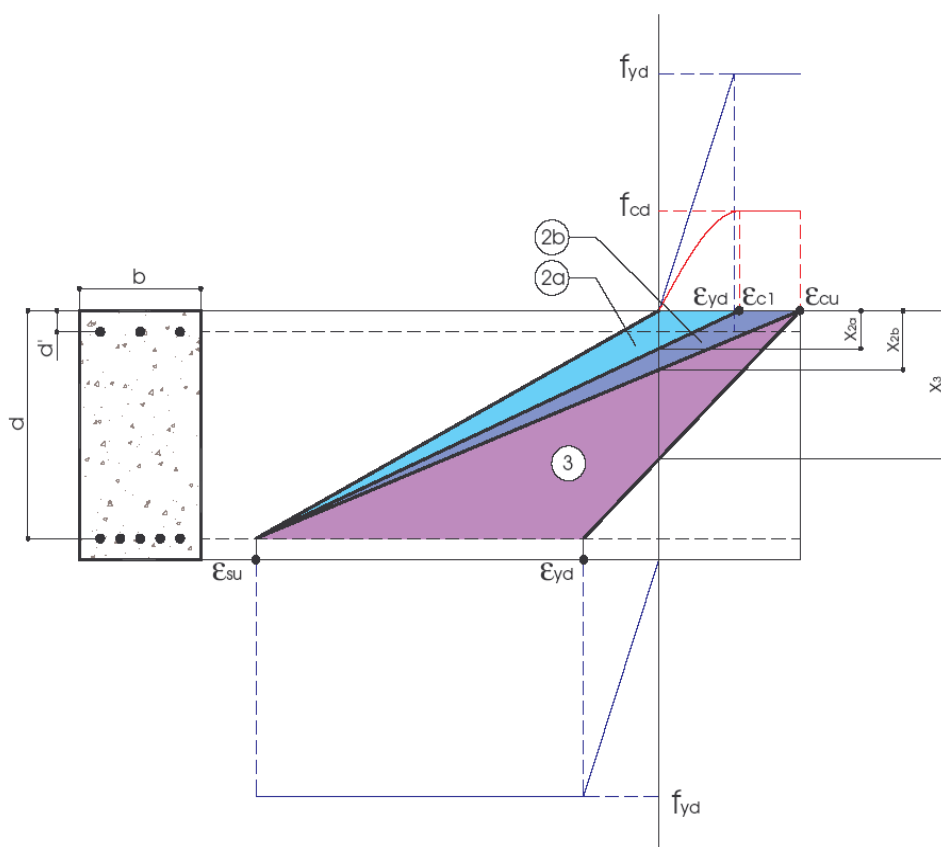
DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	7	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	10	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	4	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE			
Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,1468	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,1538	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,2232	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,2717	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	0,1013	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,9373	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,1137	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2654	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,7141	[-]
	ω'_3	0,2841	[-]

VERIFICA A SLU

CAMPO 2b

Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ	0,1909	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	49,62	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\varepsilon_{c,max}$	0,0024	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\varepsilon_{s,max}$	0,0100	[-]
Coefficiente di riempimento	β	0,7174	[-]
Coefficiente di baricentro	κ	0,3865	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s	0,3013	[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s	96,06	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ε'_s	0,0005	[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	107,44	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	92,43	[kNm]

I R 0,86



4.5.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA				
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	68,42	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,54	σ_c	6,66 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	52,26 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,60	σ_s	210,09 [MPa]

4.5.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE

Controllo tensionale per la Combinazione Frequente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	52,25	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	5,09	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	39,91	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	160,44	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 160,44 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 300 mm

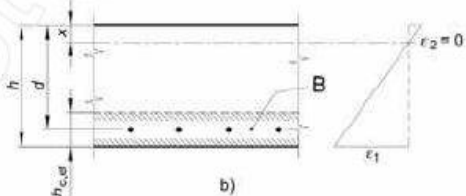
altezza utile d 260 mm

asse neutro x 83,82 mm

caso Fig. C4.1.9 b

 $h_{c,ef}$ 72,06 mm

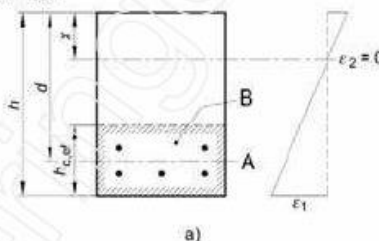
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

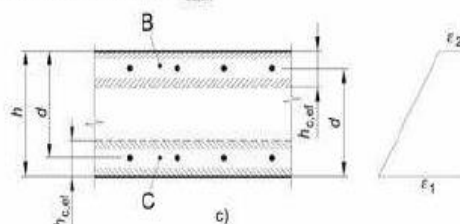
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 72.060 mm² A_s 1.407 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa ϵ_{sm} 0,0005 -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 7 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm Δs_{max} 275,26 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,13 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_{2l} = 0,30 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

4.5.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP

Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	16,68	[kNm]		
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]		
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]		
Copriferro	d'	40	[mm]		
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]		
Area dell'armatura tesa	A _s	1.407	[mm ²]		
Area dell'armatura compressa	A's	314	[mm ²]		
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]		
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]		
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ _{c,q,d}	9,34	[MPa]		
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	352	[MPa]		
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,17	σ _c	1,62	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ _s	12,74	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa			σ _s	51,21	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

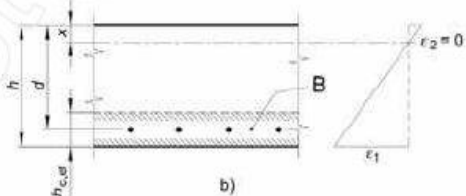
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 51,21 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 300 mmaltezza utile d 260 mmasse neutro x 83,82 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 72,06 mm

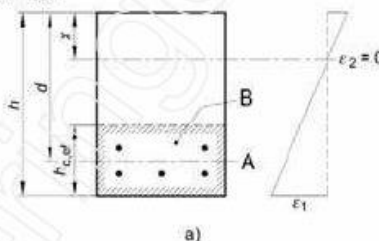
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

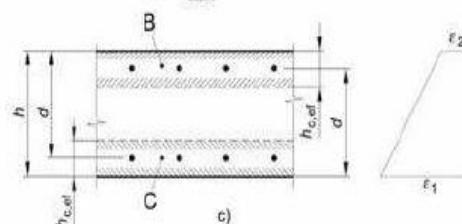
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 72.060 mm² A_s 1.407 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0001** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 7 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm **Δs_{max}** 275,26 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,04 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_l = 0,20 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

4.6 Sbalzo zona di giunto sollecitazioni NTC

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = -5,42 \cdot 1,35 - 5,06 \cdot 1,50 - (43,19 + 1,80) \cdot 1,35 = -75,64 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = -5,42 - 5,06 - 43,19 - 1,80 = -55,47 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = -5,42 - 5,06 - (43,19 + 1,80) \cdot 0,75 = -44,22 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = -5,42 - 5,06 - (43,19 + 1,80) \cdot 0,20 = -19,48 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE ECCEZIONALE

Il momento flettente agente secondo la combinazione Eccezionale è pari a:

$$M_{Ed, ECCEZIONALE} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} + M_{svio} = -5,42 - 5,06 - 43,19 - 1,80 - 100,01 = -155,48 \text{ kNm/m}$$

4.6.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk,0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk,0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza		LC2	1,20	[-]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	210.000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio		e_{yd}	0,001518	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio		e_{su}	0,0100	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio		f_{yd}	318,84	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS		s_s	352	[MPa]

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	5,42	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	5,06	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	44,99	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po
	Verifica statica

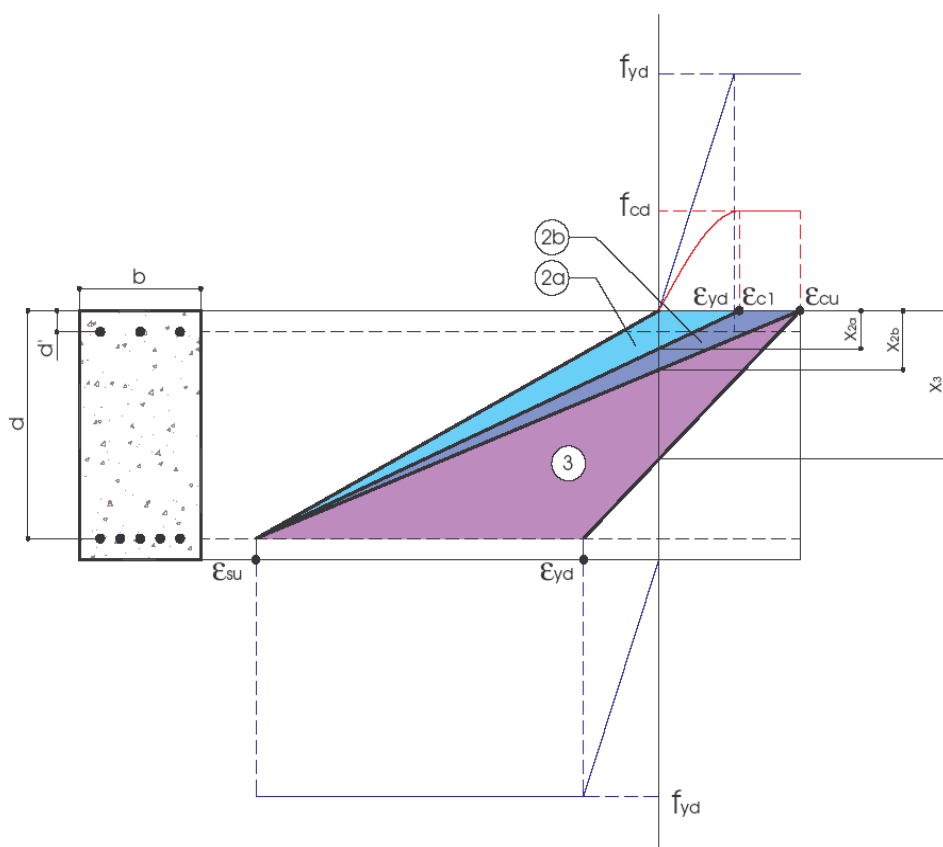
DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	8	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	10	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	4	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE			
Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,1678	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,1538	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,1953	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,2717	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	0,1013	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,9373	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,1134	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2569	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,6893	[-]
	ω'_3	0,2742	[-]

VERIFICA A SLU

CAMPO 2b

Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ	0,2064	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	53,66	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\varepsilon_{c,max}$	0,0026	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\varepsilon_{s,max}$	0,0100	[-]
Coefficiente di riempimento	β	0,7436	[-]
Coefficiente di baricentro	κ	0,3939	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s	0,4360	[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s	139,01	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ε'_s	0,0007	[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	121,68	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	75,64	[kNm]

I R 0,62



4.6.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA				
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	55,47	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,41	σ_c	5,15 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	42,35 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,43	σ_s	149,98 [MPa]

4.6.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE

Controllo tensionale per la Combinazione Frequente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	44,22	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	4,11	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	33,76	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	119,57	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo **C25/30** $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione **XD1**
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura **Poco sensibile**

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio **B450C** $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 119,57 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 300 mm

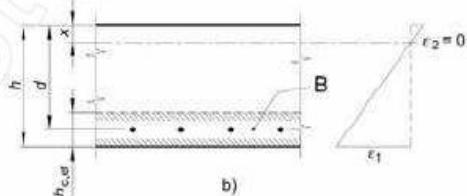
altezza utile d 260 mm

asse neutro x 88,44 mm

caso Fig. C4.1.9 b

 $h_{c,ef}$ 70,52 mm

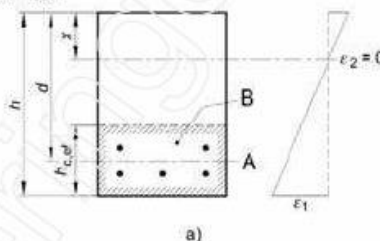
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

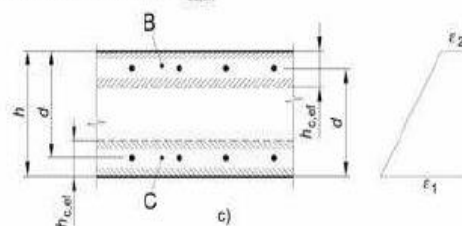
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 70.519 mm² A_s 1.608 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm} 0,0003 -**

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 8 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm**Dsmax** 255,25 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):****wd = $\epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max}$ = 0,09 mm****Valore limite di apertura della fessura:** **w_2 = 0,30 mm VERIFICA SODDISFATTA**

4.6.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP

Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	19,48	[kNm]		
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]		
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]		
Copriferro	d'	40	[mm]		
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]		
Area dell'armatura tesa	A _s	1.608	[mm ²]		
Area dell'armatura compressa	A's	314	[mm ²]		
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]		
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]		
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ _{c,q.d.}	9,34	[MPa]		
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	352	[MPa]		
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,19	σ _c	1,81	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ _s	14,87	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa			σ _s	52,66	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

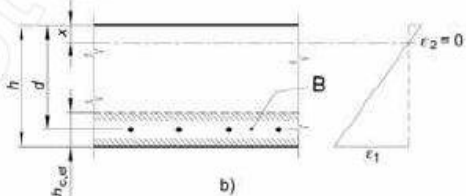
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 52,66 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 300 mmaltezza utile d 260 mmasse neutro x 88,44 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 70,52 mm

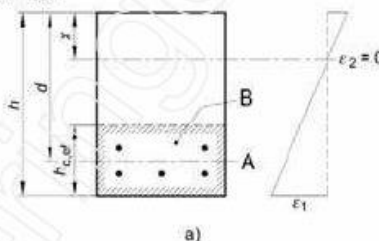
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

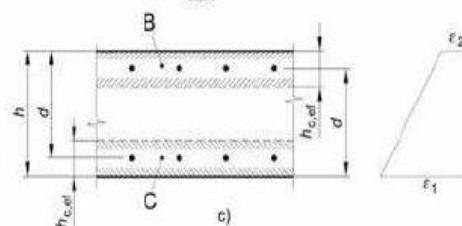
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 70.519 mm² A_s 1.608 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0002** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 8 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425spaziatura tra i ferri d'armatura **90** mmspaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm **Δs_{max}** 255,25 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,04 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_l = 0,20 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

4.6.5 Verifica armature trasversali – Combinazione Eccezionale

Il momento flettente agente secondo la combinazione eccezionale è pari a:

$$M_{Ed, ECCEZ} = -136,55 \text{ kNm/m}$$

$$N_{Ed, ECCEZ} = N_{urto} = 80,65 \text{ kN/m}$$

Titolo : SBALZO - COMBINAZIONE ECCEZIONALE ZONA DI GIUNTO

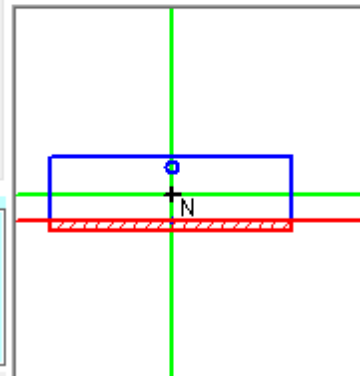
N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	16,08	4
2	3,14	26

Tipo Sezione

- ☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.



Sollecitazioni

S.L.U.

Metodo n

N _{Ed}	-80,65	0	kN
M _{xEd}	-155,48	0	kNm
M _{yEd}	0	0	

P.to applicazione N

- ☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

- ☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-
☐ Metodo n

Tipo flessione

- ☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd

Dominio M-N

L₀ 0 cm

Col. modello

☐ Precompresso

Materiali	
FeB44k	C25/30
ε _{su} 67,5 ‰	ε _{c2} 2 ‰
f _{yd} 440 N/mm²	ε _{cu} 3,5 ‰
E _s 200.000 N/mm²	f _{cd} 21,26
E _s /E _c 15	f _{cc} /f _{cd} 0,8 ?
ε _{syd} 2,2 ‰	σ _{c,adm} 9,75
σ _{s,adm} 255 N/mm²	τ _{co} 0,6
	τ _{c1} 1,829

M_{xRd} -162,5 kN m

σ_c -21,26 N/mm²

σ_s 440 N/mm²

ε_c 3,5 ‰

ε_s 20,89 ‰

d 26 cm

x 3,73 x/d 0,1435

δ 0,7

Indice di resistenza

$$I_R = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{155,48}{162,50} = 0,96$$

→

La sezione è verificata

4.7 Campata zona di giunto sollecitazioni NTC

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = 2,81 \cdot 1,35 + 1,69 \cdot 1,50 + (88,27 + 0,43) \cdot 1,35 = 126,07 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = 2,81 + 1,69 + 88,27 + 0,43 = 93,20 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = 2,81 + 1,69 + (88,27 + 0,43) \cdot 0,75 = 71,03 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = 2,81 + 1,69 + (88,27 + 0,43) \cdot 0,20 = 22,24 \text{ kNm/m}$$

4.7.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	24* (*altezza media lungo lo sviluppo della zona di giunto)
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16
	Ferri inf.	10 ϕ 16

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk;0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk;0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza		LC2	1,20	[-]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	210.000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio		e_{yd}	0,001518	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio		e_{su}	0,0100	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio		f_{yd}	318,84	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS		s_s	352	[MPa]

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	2,81	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	1,69	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	88,70	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	240	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	200	[mm]

ARMATURA TESA

Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]

ARMATURA COMPRESSA

Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	3	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]

DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE

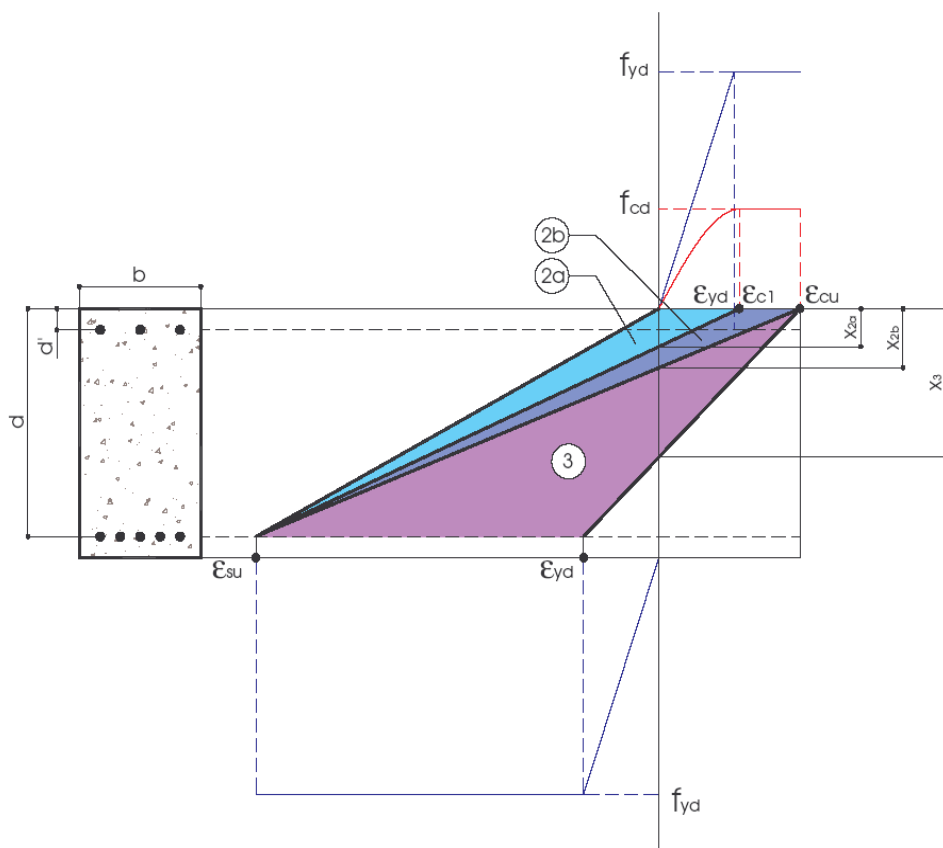
Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,2726	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,2000	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,3000	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,3532	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	-0,2635	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,5269	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,1030	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2493	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,7924	[-]
	ω'_3	0,4098	[-]

VERIFICA A SLU

CAMPO 3a

Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ	0,2759	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	55,18	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\varepsilon_{c,max}$	0,0035	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\varepsilon_{s,max}$	0,0092	[-]
Coefficiente di riempimento	β	0,8000	[-]
Coefficiente di baricentro	κ	0,4000	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s	0,6343	[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s	202,23	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ε'_s	0,0010	[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	111,88	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	126,07	[kNm]

IR 1,13



	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po
	Verifica statica

4.7.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	24* (*altezza media lungo lo sviluppo della zona di giunto)
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16
	Ferri inf.	10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA				
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	93,20	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	240	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d	200	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	80,48	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	6,1941E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,97	σ_c	12,11 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	91,36 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,77	σ_s	269,76 [MPa]

4.7.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	24* (*altezza media lungo lo sviluppo della zona di giunto)
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16
	Ferri inf.	10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE

Controllo tensionale per la Combinazione Frequente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	71,03	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	240	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	200	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	80,48	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	6,1941E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	9,23	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	69,62	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	205,57	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo **C25/30** $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione **XD1**
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura **Poco sensibile**

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio **B450C** $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 205,57 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 240 mm

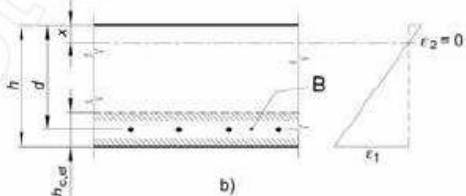
altezza utile d 200 mm

asse neutro x 80,48 mm

caso Fig. C4.1.9 b

hc,ef 53,17 mm

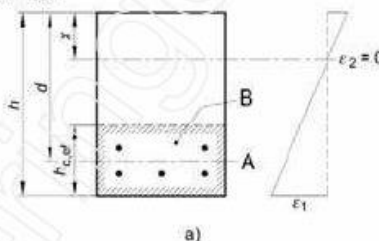
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

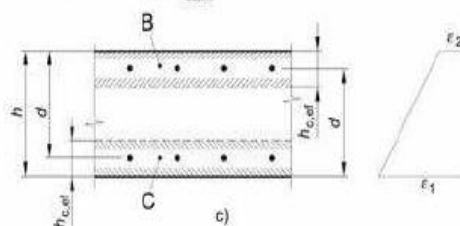
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 53.174 mm² A_s 2.011 mm² ρ_{eff} 0,04 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm} 0,0008 -**

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 10 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm**Dsmax** 207,93 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,16 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_2 = 0,30 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

4.7.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	24* (*altezza media lungo lo sviluppo della zona di giunto)
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16
	Ferri inf.	10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP				
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	22,24	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	240	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d'	200	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	80,48	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	6,1941E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,q,d}$	9,34	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,31	σ_c	2,89 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	21,80 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa			σ_s	64,37 [MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

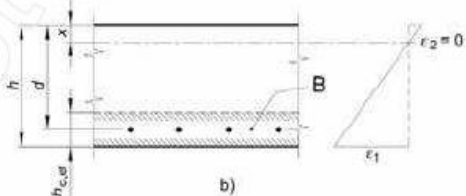
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 64,37 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 240 mmaltezza utile d 200 mmasse neutro x 80,48 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 53,17 mm

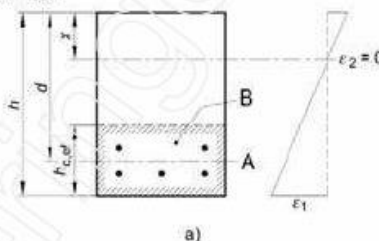
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

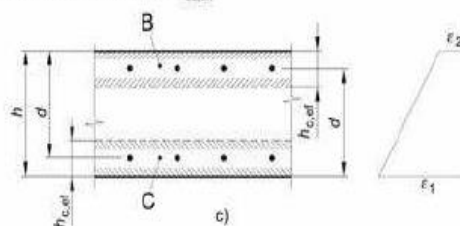
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 53.174 mm² A_s 2.011 mm² ρ_{eff} 0,04 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0002** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 10 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm **D_{smax}** 207,93 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,04 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_l = 0,20 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

4.8 Continuità zona di giunto sollecitazioni NTC

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = -3,32 \cdot 1,35 - 0,42 \cdot 1,50 - 80,88 \cdot 1,35 = -114,30 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = -3,32 - 0,42 - 80,88 = -84,62 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = -3,32 - 0,42 - 80,88 \cdot 0,75 = -64,40 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = -3,32 - 0,42 - 80,88 \cdot 0,20 = -19,92 \text{ kNm/m}$$

4.8.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk,0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk,0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza		LC2	1,20	[-]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	210.000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio		e_{yd}	0,001518	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio		e_{su}	0,0100	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio		f_{yd}	318,84	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS		s_s	352	[MPa]

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	3,32	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	0,42	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	80,88	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po
	Verifica statica

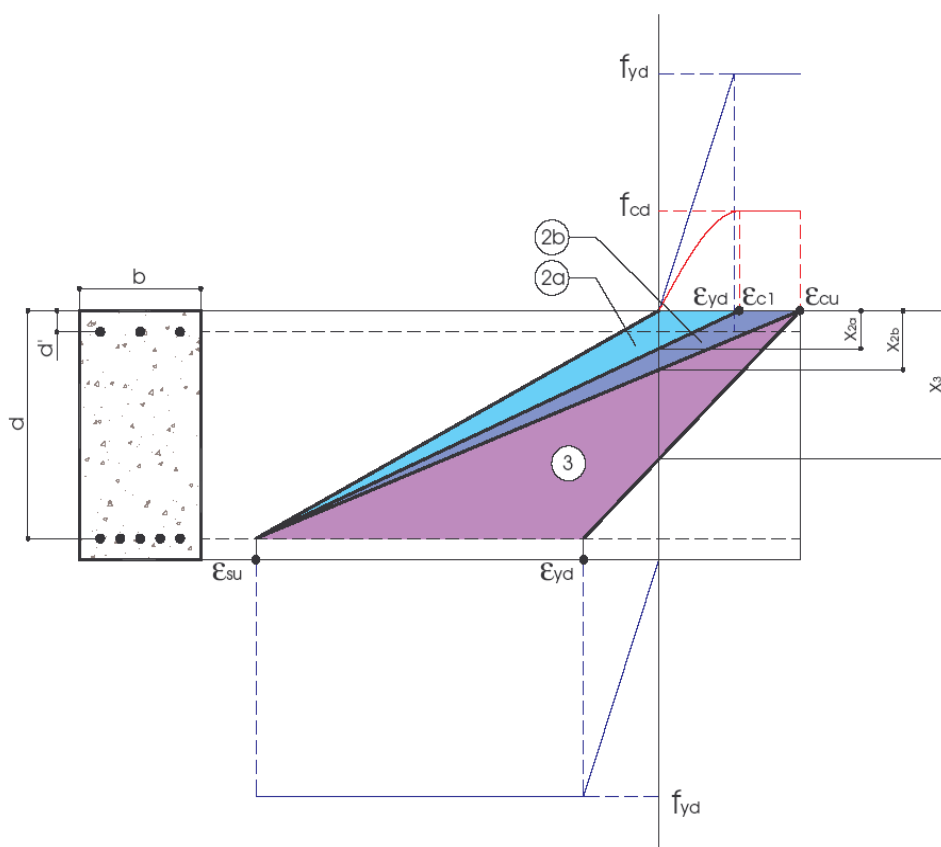
DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	7	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	10	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	4	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE			
Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,1468	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,1538	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,2232	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,2717	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	0,1013	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,9373	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,1137	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2654	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,7141	[-]
	ω'_3	0,2841	[-]

VERIFICA A SLU

CAMPO 2b

Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ	0,1909	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	49,62	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\varepsilon_{c,max}$	0,0024	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\varepsilon_{s,max}$	0,0100	[-]
Coefficiente di riempimento	β	0,7174	[-]
Coefficiente di baricentro	κ	0,3865	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s	0,3013	[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s	96,06	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ε'_s	0,0005	[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	107,44	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	114,30	[kNm]

I R 1,06



4.8.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA				
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	84,62	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,66	σ_c	8,24 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	64,63 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,74	σ_s	259,84 [MPa]

4.8.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE

Controllo tensionale per la Combinazione Frequente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	64,40	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,27	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	49,18	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	197,75	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo **C25/30** $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione **XD1**
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura **Poco sensibile**

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio **B450C** $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 197,75 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 300 mm

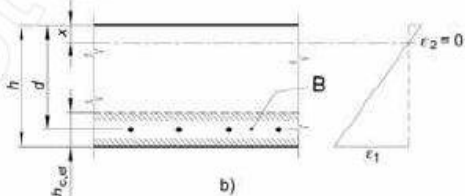
altezza utile d 260 mm

asse neutro x 83,82 mm

caso Fig. C4.1.9 b

 $h_{c,ef}$ 72,06 mm

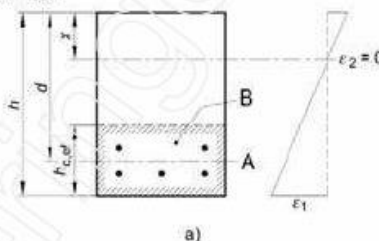
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

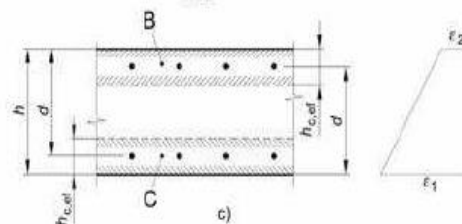
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 72.060 mm² A_s 1.407 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa ϵ_{sm} 0,0006 -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 7 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm Δs_{max} 275,26 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,16 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_{2l} = 0,30 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

4.8.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP

Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	19,92	[kNm]		
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]		
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]		
Copriferro	d'	40	[mm]		
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]		
Area dell'armatura tesa	A _s	1.407	[mm ²]		
Area dell'armatura compressa	A' _s	314	[mm ²]		
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]		
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]		
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ _{c,q,d}	9,34	[MPa]		
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	352	[MPa]		
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,21	σ _c	1,94	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ _s	15,21	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa			σ _s	61,15	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

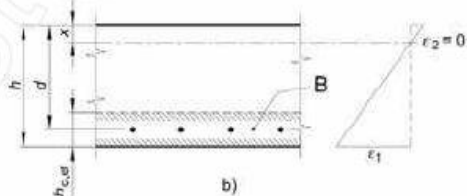
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 61,15 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 300 mmaltezza utile d 260 mmasse neutro x 83,82 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 72,06 mm

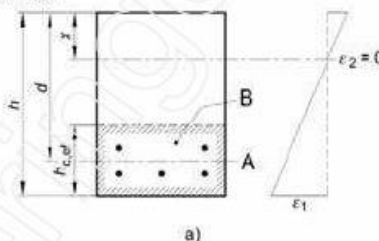
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

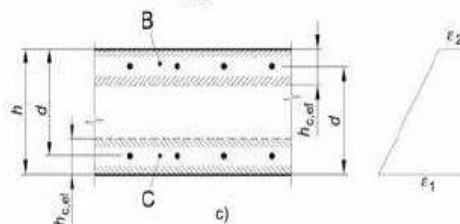
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 72.060 mm² A_s 1.407 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0002** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 7 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm **Δs_{max}** 275,26 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):** **w_d** = **$\epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max}$** = **0,05** mm**Valore limite di apertura della fessura:** **w_l** = **0,20** mm **VERIFICA SODDISFATTA**

4.9 Sbalzo zona tipica sollecitazioni con carichi in esercizio

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = -5,42 \cdot 1,35 - 5,06 \cdot 1,50 - (28,72 + 1,80) \cdot 1,35 = -56,11 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = -5,42 - 5,06 - 28,72 - 1,80 = -41,00 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = -5,42 - 5,06 - (28,72 + 1,80) \cdot 0,75 = -33,37 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = -5,42 - 5,06 - (28,72 + 1,80) \cdot 0,20 = -16,58 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE ECCEZIONALE

Il momento flettente agente secondo la combinazione Eccezionale è pari a:

$$M_{Ed, ECCEZIONALE} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} + M_{svio} = -5,42 - 5,06 - 28,72 - 1,80 - 62,63 = -103,63 \text{ kNm/m}$$

4.9.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk;0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk;0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza		LC2	1,20	[-]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	210.000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio		e_{yd}	0,001518	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio		e_{su}	0,0100	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio		f_{yd}	318,84	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS		s_s	352	[MPa]

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	5,42	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	5,06	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	30,52	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po
	Verifica statica

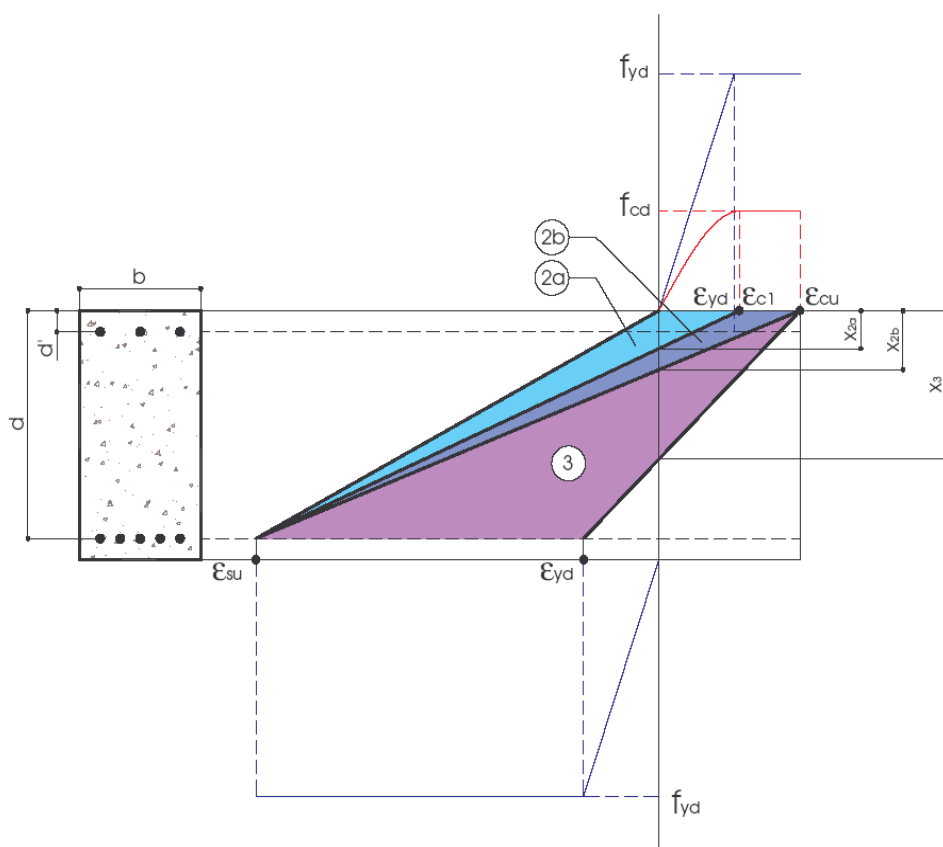
DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	8	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	10	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	4	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE			
Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,1678	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,1538	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,1953	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,2717	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	0,1013	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,9373	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,1134	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2569	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,6893	[-]
	ω'_3	0,2742	[-]

VERIFICA A SLU

CAMPO 2b

Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ	0,2064	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	53,66	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\varepsilon_{c,max}$	0,0026	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\varepsilon_{s,max}$	0,0100	[-]
Coefficiente di riempimento	β	0,7436	[-]
Coefficiente di baricentro	κ	0,3939	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s	0,4360	[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s	139,01	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ε'_s	0,0007	[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	121,68	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	56,11	[kNm]

I R 0,46



4.9.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA				
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	41,00	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,31	σ_c	3,81 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	31,30 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,31	σ_s	110,85 [MPa]

4.9.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE

Controllo tensionale per la Combinazione Frequente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	33,37	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	3,10	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	25,48	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	90,22	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo **C25/30** $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione **XD1**
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura **Poco sensibile**

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio **B450C** $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 90,22 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 300 mm

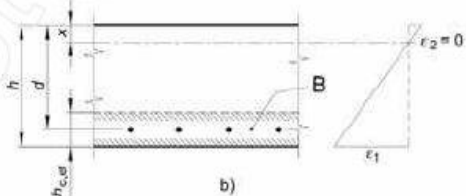
altezza utile d 260 mm

asse neutro x 88,44 mm

caso Fig. C4.1.9 b

hc,ef 70,52 mm

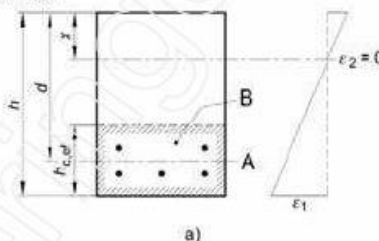
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

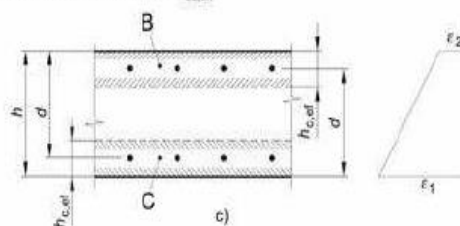
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 70.519 mm² A_s 1.608 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa ϵ_{sm} 0,0003 -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 8 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm D_{smax} 255,25 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):** $w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,07$ mm**Valore limite di apertura della fessura:** $w_2 = 0,30$ mm **VERIFICA SODDISFATTA**

4.9.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP

Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	16,58	[kNm]		
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]		
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]		
Copriferro	d'	40	[mm]		
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]		
Area dell'armatura tesa	A _s	1.608	[mm ²]		
Area dell'armatura compressa	A's	314	[mm ²]		
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]		
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]		
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ _{c,q,d}	9,34	[MPa]		
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	352	[MPa]		
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,17	σ _c	1,54	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ _s	12,66	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa			σ _s	44,84	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

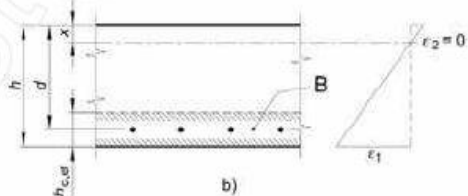
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 44,84 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 300 mmaltezza utile d 260 mmasse neutro x 88,44 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 70,52 mm

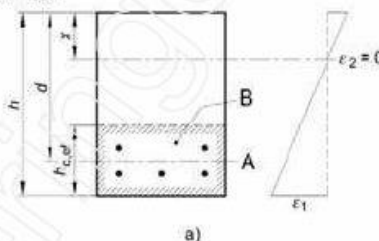
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

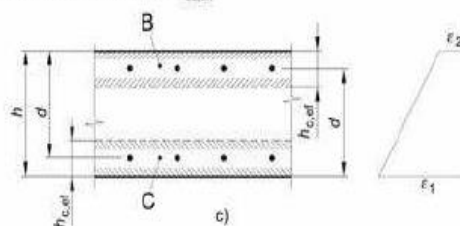
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 70.519 mm² A_s 1.608 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0001** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 8 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm**Dsmax** 255,25 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):** **w_d** = **$\epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max}$** = **0,03** mm**Valore limite di apertura della fessura:** **w_l** = **0,20** mm **VERIFICA SODDISFATTA**

4.9.5 Verifica armature trasversali – Combinazione Eccezionale

Il momento flettente agente secondo la combinazione eccezionale è pari a:

$$M_{Ed, ECCEZ} = -103,63 \text{ kNm/m}$$

$$N_{Ed, ECCEZ} = N_{urto} = 50,51 \text{ kN/m}$$

Titolo : SBALZO - COMBINAZIONE ECCEZIONALE

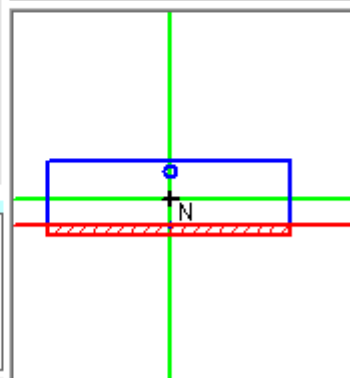
N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	16,08	4
2	3,14	26

Tipo Sezione

- ☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.



Sollecitazioni

S.L.U.	Metodo n
N _{Ed} -50,51	0 kN
M _{xEd} -103,63	0 kNm
M _{yEd} 0	0

P.to applicazione N

- ☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm]
- xN 0
yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

- ☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-
☐ Metodo n

Tipo flessione

- ☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd

Dominio M-N

L₀ 0 cm

Col. modello

☐ Precompresso

Materiali

FeB44k	C25/30
ε _{su} 67,5 ‰	ε _{c2} 2 ‰
f _{yd} 440 N/mm²	ε _{cu} 3,5 ‰
E _s 200.000 N/mm²	f _{cd} 21,26
E _s /E _c 15	f _{cc} /f _{cd} 0,8 ?
ε _{syd} 2,2 ‰	σ _{c,adm} 9,75
σ _{s,adm} 255 N/mm²	τ _{co} 0,6
	τ _{c1} 1,829

M_{xRd} -166 kN m

σ_c -21,26 N/mm²

σ_s 440 N/mm²

ε_c 3,5 ‰

ε_s 20,08 ‰

d 26 cm

x 3,86 x/d 0,1485

δ 0,7

Indice di resistenza

$$I_R = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{103,63}{166,00} = 0,62$$

→

La sezione è verificata

4.10 Campata zona tipica sollecitazioni con carichi in esercizio

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = 2,81 \cdot 1,35 + 1,69 \cdot 1,50 + (37,77 + 0,43) \cdot 1,35 = 57,90 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = 2,81 + 1,69 + 37,77 + 0,43 = 42,70 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = 2,81 + 1,69 + (37,77 + 0,43) \cdot 0,75 = 33,15 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = 2,81 + 1,69 + (37,77 + 0,43) \cdot 0,20 = 12,14 \text{ kNm/m}$$

4.10.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU**CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE**

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE base (cm) 100

altezza (cm) 20

CONDIZIONI AMBIENTALI Aggressive (XD1)

ARMATURA Ferri sup. 3 $\phi 16$ Ferri inf. 10 $\phi 16$ **DEFINIZIONE DEI MATERIALI****Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005**

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk;0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk;0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ε_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ε_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza		LC2	1,20	[-]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	210.000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio		e_{yd}	0,001518	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio		e_{su}	0,0100	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio		f_{yd}	318,84	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS		s_s	352	[MPa]

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	2,81	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	1,69	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	38,20	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	160	[mm]

ARMATURA TESA

Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]

ARMATURA COMPRESSA

Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	3	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]

DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE

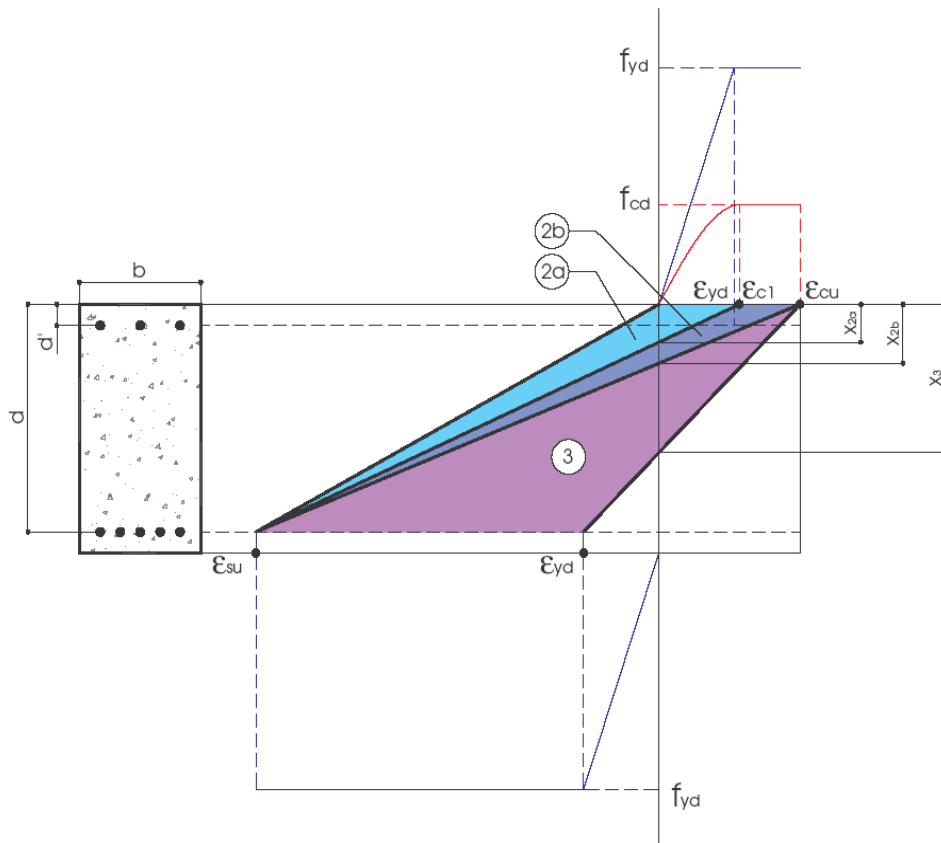
Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,3408	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,2500	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,3000	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,4415	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	-0,6586	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,0823	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,0928	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2152	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,7924	[-]
	ω'_3	0,5122	[-]

VERIFICA A SLU

CAMPO 3a

Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ	0,3449	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	55,18	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\varepsilon_{c,max}$	0,0035	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\varepsilon_{s,max}$	0,0066	[-]
Coefficiente di riempimento	β	0,8000	[-]
Coefficiente di baricentro	κ	0,4000	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s	0,6343	[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s	202,23	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ε'_s	0,0010	[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	86,23	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	57,90	[kNm]

IR 0,67



4.10.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE base (cm) 100

altezza (cm) 20

CONDIZIONI AMBIENTALI Aggressive (XD1)

ARMATURA Ferri sup. 3 ϕ 16

Ferri inf. 10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA

Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	42,70	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	160	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	69,93	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	3,6677E+08	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,65	σ_c 8,14 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s 52,28 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,45	σ_s 157,28 [MPa]

4.10.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE base (cm) 100

altezza (cm) 20

CONDIZIONI AMBIENTALI Aggressive (XD1)

ARMATURA Ferri sup. 3 ϕ 16

Ferri inf. 10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE

Controllo tensionale per la Combinazione Frequente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	33,15	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	160	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	69,93	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	3,6677E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,32	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	40,58	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	122,11	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo **C25/30** $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione **XD1**
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura **Poco sensibile**

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio **B450C** $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 122,11 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 200 mm

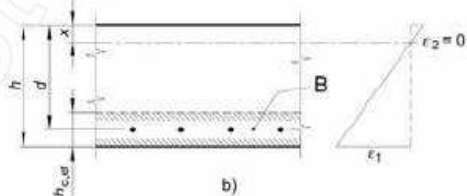
altezza utile d 160 mm

asse neutro x 69,93 mm

caso Fig. C4.1.9 b

hc,ef 43,36 mm

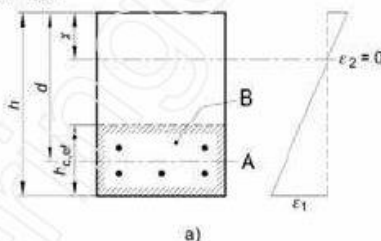
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

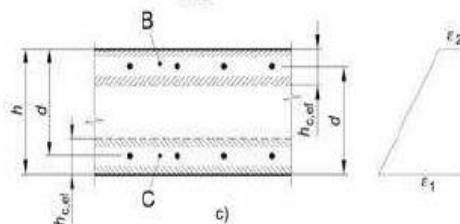
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 43.355 mm² A_s 2.011 mm² ρ_{eff} 0,05 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa ϵ_{sm} 0,0004 -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 10 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm**Dsmax** 194,65 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,08 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_2 = 0,30 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

4.10.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE base (cm) 100

altezza (cm) 20

CONDIZIONI AMBIENTALI Aggressive (XD1)

ARMATURA Ferri sup. 3 ϕ 16

Ferri inf. 10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP				
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	12,14	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d'	160	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	69,93	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	3,6677E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,q,p.}$	9,34	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,25	σ_c	2,31 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	14,86 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa			σ_s	44,72 [MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

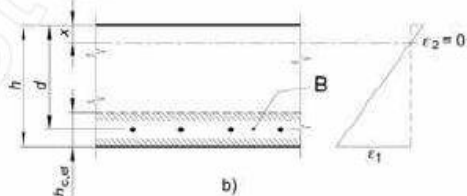
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 44,72 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 200 mmaltezza utile d 160 mmasse neutro x 69,93 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 43,36 mm

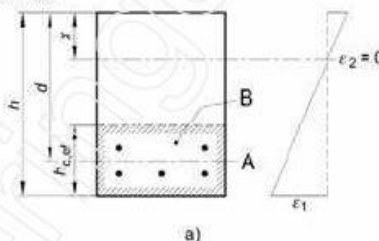
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

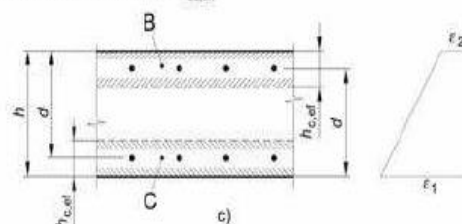
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 43.355 mm² A_s 2.011 mm² ρ_{eff} 0,05 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0001** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 10 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm **D_{smax}** 194,65 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,02 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_l = 0,20 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

4.11 Continuità zona tipica sollecitazioni con carichi in esercizio

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = - 3,32 \cdot 1,35 - 0,42 \cdot 1,50 - 34,08 \cdot 1,35 = - 51,12 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = - 3,32 - 0,42 - 34,08 = - 37,82 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = - 3,32 - 0,42 - 34,08 \cdot 0,75 = - 29,30 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = - 3,32 - 0,42 - 34,08 \cdot 0,20 = - 10,56 \text{ kNm/m}$$

4.11.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk,0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk,0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ε_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ε_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]	
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1,15	[-]	
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	210.000	[MPa]	
Deformazione a snervamento dell'acciaio	e_{yd}	0,001518	[-]	
Deformazione ultima dell'acciaio	e_{su}	0,0100	[-]	
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	318,84	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	s_s	352	[MPa]	

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	3,32	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	0,42	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	34,08	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]

ARMATURA TESA

Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	7	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]

ARMATURA COMPRESSA

Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	10	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	4	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]

DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE

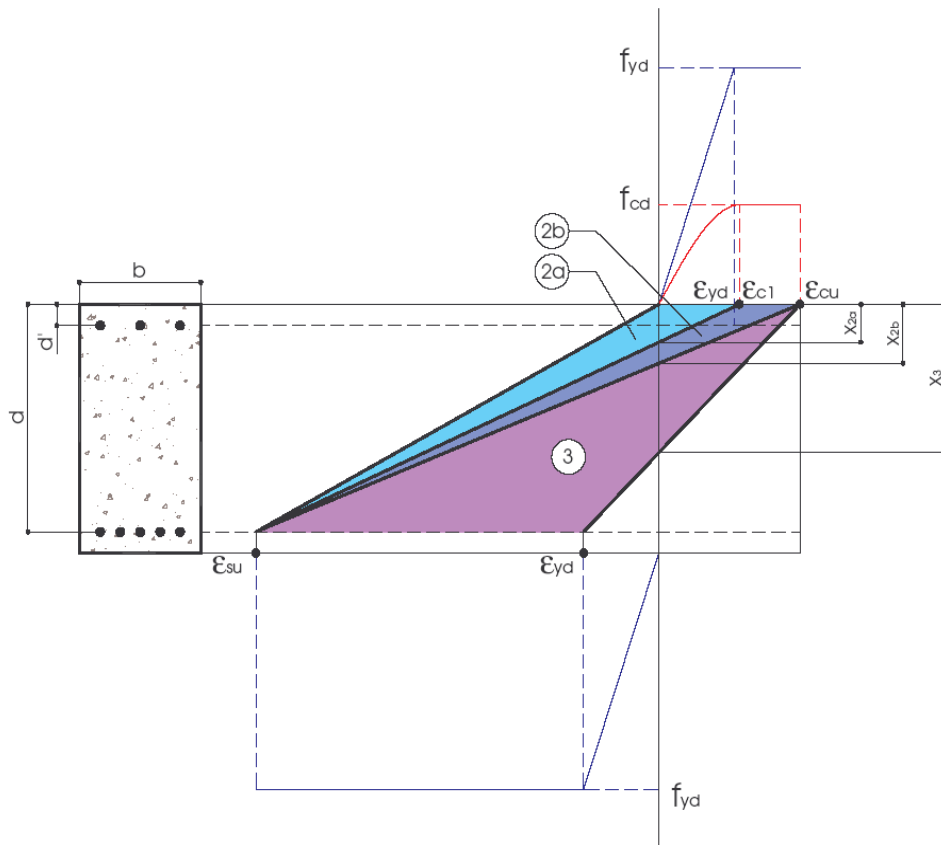
Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,1468	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,1538	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,2232	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,2717	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	0,1013	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,9373	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,1137	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2654	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,7141	[-]
	ω'_3	0,2841	[-]

VERIFICA A SLU

CAMPO 2b

Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ	0,1909	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	49,62	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\varepsilon_{c,max}$	0,0024	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\varepsilon_{s,max}$	0,0100	[-]
Coefficiente di riempimento	β	0,7174	[-]
Coefficiente di baricentro	κ	0,3865	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s	0,3013	[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s	96,06	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ε'_s	0,0005	[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	107,44	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	51,12	[kNm]

I R 0,48



4.11.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA				
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	37,82	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,30	σ_c	3,68 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	28,88 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,33	σ_s	116,13 [MPa]

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

4.11.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	29,30	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	2,85	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	22,38	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	89,97	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo **C25/30** $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione **XD1**
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura **Poco sensibile**

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio **B450C** $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 89,97 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 300 mm

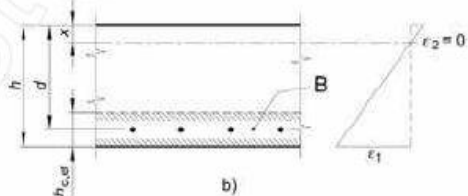
altezza utile d 260 mm

asse neutro x 83,82 mm

caso Fig. C4.1.9 b

hc,ef 72,06 mm

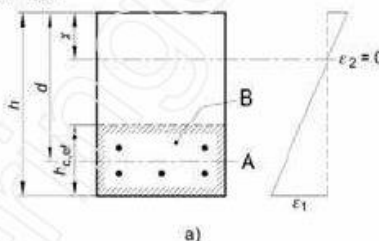
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

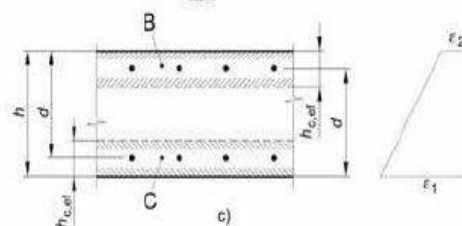
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 72.060 mm² A_s 1.407 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm} 0,0003 -**

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 7 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm**Dsmax** 275,26 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):****wd = $\epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max}$ = 0,07 mm****Valore limite di apertura della fessura:****w2 = 0,30 mm****VERIFICA SODDISFATTA**

4.11.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP

Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	10,56	[kNm]		
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]		
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]		
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]		
Copriferro	d'	40	[mm]		
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]		
Area dell'armatura tesa	A _s	1.407	[mm ²]		
Area dell'armatura compressa	A' _s	314	[mm ²]		
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]		
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]		
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ _{c,q.p.}	9,34	[MPa]		
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	352	[MPa]		
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,11	σ _c	1,03	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ _s	8,06	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa			σ _s	32,41	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

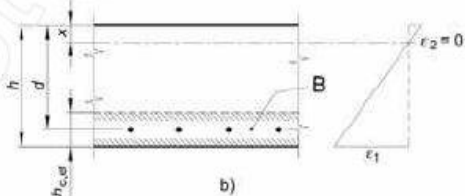
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 32,41 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 300 mmaltezza utile d 260 mmasse neutro x 83,82 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 72,06 mm

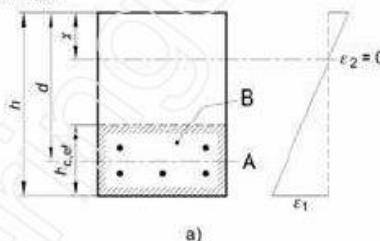
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

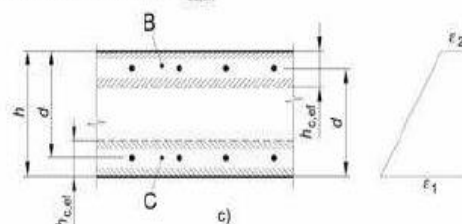
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 72.060 mm² A_s 1.407 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0001** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 7 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm **Δs_{max}** 275,26 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,03 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_l = 0,20 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

4.12 Sbalzo zona di giunto sollecitazioni con carichi in esercizio

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = -5,42 \cdot 1,35 - 5,06 \cdot 1,50 - (57,43 + 1,80) \cdot 1,35 = -75,64 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = -5,42 - 5,06 - 57,43 - 1,80 = -55,47 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = -5,42 - 5,06 - (57,43 + 1,80) \cdot 0,75 = -44,22 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = -5,42 - 5,06 - (57,43 + 1,80) \cdot 0,20 = -19,48 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE ECCEZIONALE

Il momento flettente agente secondo la combinazione Eccezionale è pari a:

$$M_{Ed, ECCEZIONALE} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} + M_{svio} = -5,42 - 5,06 - 57,43 - 1,80 - 100,01 = -169,72 \text{ kNm/m}$$

4.12.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk,0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk,0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ε_{cl}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ε_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza		LC2	1,20	[-]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	210.000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio		e_{yd}	0,001518	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio		e_{su}	0,0100	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio		f_{yd}	318,84	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS		s_s	352	[MPa]

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	5,42	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	5,06	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	59,23	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]

ARMATURA TESA

Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	8	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]

ARMATURA COMPRESSA

Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	10	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	4	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]

DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE

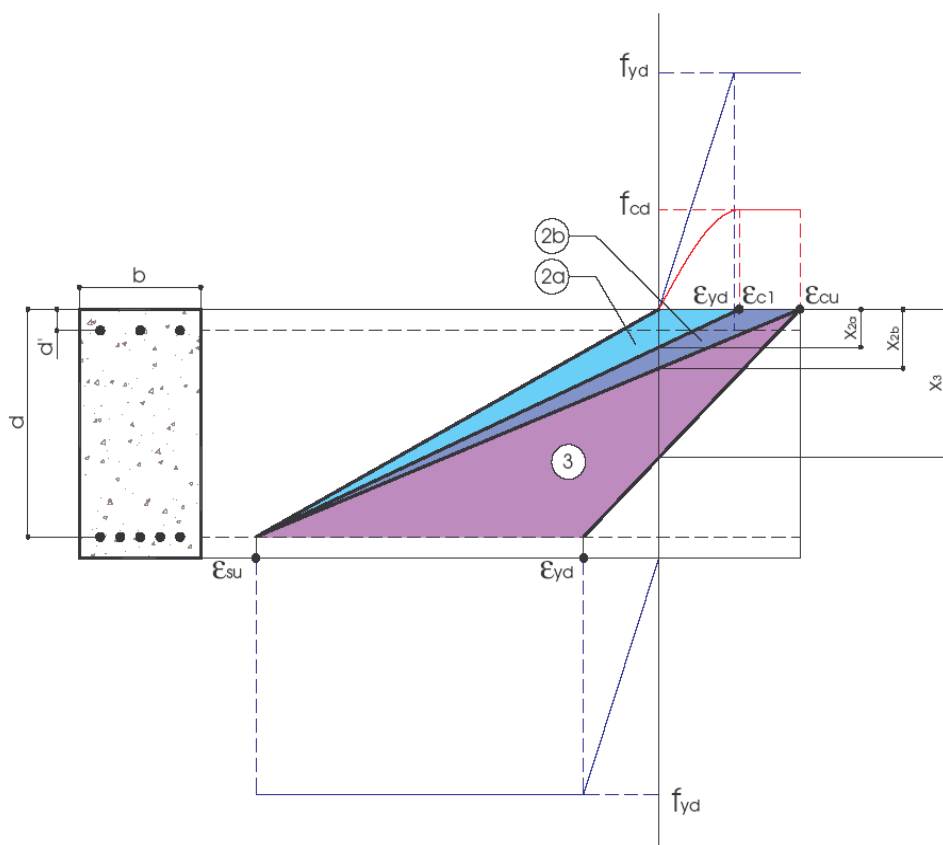
Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,1678	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,1538	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,1953	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,2717	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	0,1013	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,9373	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,1134	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2569	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,6893	[-]
	ω'_3	0,2742	[-]

VERIFICA A SLU

CAMPO 2b

Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ	0,2064	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	53,66	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\varepsilon_{c,max}$	0,0026	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\varepsilon_{s,max}$	0,0100	[-]
Coefficiente di riempimento	β	0,7436	[-]
Coefficiente di baricentro	κ	0,3939	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s	0,4360	[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s	139,01	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ε'_s	0,0007	[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	121,68	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	94,87	[kNm]

IR 0,78



4.12.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA				
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	69,71	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,52	σ_c	6,48 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	53,22 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,54	σ_s	188,48 [MPa]

4.12.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE

Controllo tensionale per la Combinazione Frequente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	54,90	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	5,10	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	41,91	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	148,44	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo **C25/30** $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione **XD1**
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura **Poco sensibile**

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio **B450C** $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 148,44 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 300 mm

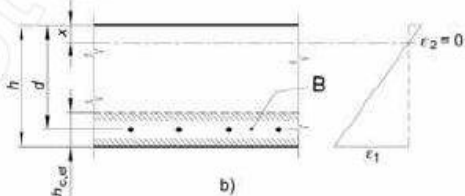
altezza utile d 260 mm

asse neutro x 88,44 mm

caso Fig. C4.1.9 b

hc,ef 70,52 mm

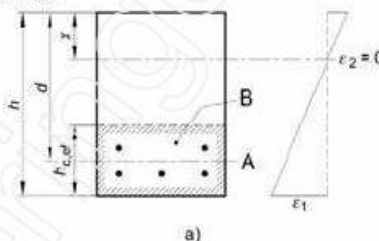
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

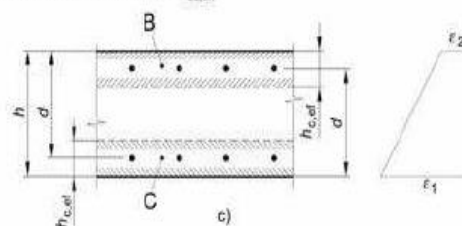
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 70.519 mm² A_s 1.608 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm} 0,0004 -**

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 8 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm**Dsmax** 255,25 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):****wd = $\epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max}$ = 0,11 mm****Valore limite di apertura della fessura:****w2 = 0,30 mm****VERIFICA SODDISFATTA**

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po
	Verifica statica

4.12.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 3 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP				
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	22,33	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	1.608	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	88,44	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	9,5178E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,q,p.}$	9,34	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,22	σ_c	2,07 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	17,04 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa			σ_s	60,36 [MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

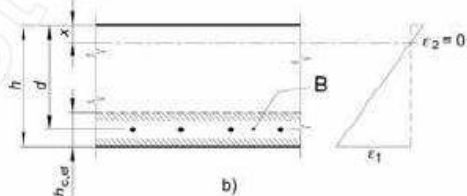
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 60,36 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 300 mmaltezza utile d 260 mmasse neutro x 88,44 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 70,52 mm

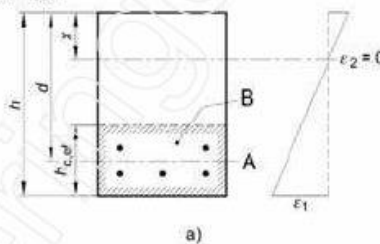
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

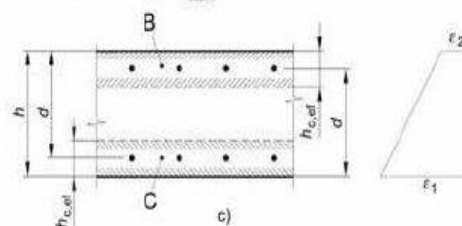
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 70.519 mm² A_s 1.608 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0002** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 8 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425spaziatura tra i ferri d'armatura **90** mmspaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm **D_{smax}** 255,25 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):** **w_d** = **$\epsilon_{sm} \cdot \Delta_{smax}$** = **0,04** mm**Valore limite di apertura della fessura:** **w_l** = **0,20** mm **VERIFICA SODDISFATTA**

4.12.5 Verifica armature trasversali – Combinazione Eccezionale

Il momento flettente agente secondo la combinazione eccezionale è pari a:

$$M_{Ed, ECCEZ} = -169,72 \text{ kNm/m}$$

$$N_{Ed, ECCEZ} = N_{urto} = 80,65 \text{ kN/m}$$

Titolo : SBALZO - COMBINAZIONE ECCEZIONALE ZONA DI GIUNTO

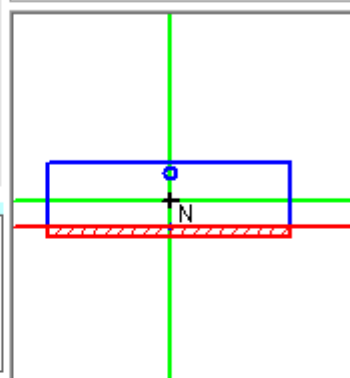
N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	16,08	4
2	3,14	26

Tipo Sezione

- ☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.



Sollecitazioni

S.L.U.

Metodo n

N _{Ed}	-80,65	0	kN
M _{xEd}	-169,72	0	kNm
M _{yEd}	0	0	

P.to applicazione N

- ☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm]

xN 0

yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

- ☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-
☐ Metodo n

Tipo flessione

- ☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd

Dominio M-N

L₀ 0 cm

Col. modello

☐ Precompresso

Materiali

FeB44k

C25/30

ε _{su}	67,5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	440 N/mm²	ε _{cu}	3,5 ‰
E _s	200.000 N/mm²	f _{cd}	21,26
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0,8
ε _{syd}	2,2 ‰	σ _{c,adm}	9,75
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0,6
		τ _{c1}	1,829

M_{xRd} -162,5 kN m

σ_c -21,26 N/mm²

σ_s 440 N/mm²

ε_c 3,5 ‰

ε_s 20,89 ‰

d 26 cm

x 3,73 x/d 0,1435

δ 0,7

Indice di resistenza

$$I_R = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{169,72}{162,50} = 1,04 \rightarrow \text{La sezione NON è verificata}$$

4.13 Campata zona di giunto sollecitazioni con carichi in esercizio

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = 2,81 \cdot 1,35 + 1,69 \cdot 1,50 + (62,84 + 0,43) \cdot 1,35 = 91,74 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = 2,81 + 1,69 + 62,84 + 0,43 = 67,77 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = 2,81 + 1,69 + (62,84 + 0,43) \cdot 0,75 = 51,95 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = 2,81 + 1,69 + (62,84 + 0,43) \cdot 0,20 = 17,15 \text{ kNm/m}$$

4.13.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	24* (*altezza media lungo lo sviluppo della zona di giunto)
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16
	Ferri inf.	10 ϕ 16

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk,0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk,0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza		LC2	1,20	[-]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	210.000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio		e_{yd}	0,001518	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio		e_{su}	0,0100	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio		f_{yd}	318,84	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS		s_s	352	[MPa]

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	2,81	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	1,69	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	63,27	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	240	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	200	[mm]

ARMATURA TESA

Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]

ARMATURA COMPRESSA

Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	3	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]

DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE

Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,2726	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,2000	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,3000	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,3532	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	-0,2635	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,5269	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,1030	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2493	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,7924	[-]
	ω'_3	0,4098	[-]

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

4.13.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	24* (*altezza media lungo lo sviluppo della zona di giunto)
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16
	Ferri inf.	10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA				
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	67,77	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	240	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d	200	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	80,48	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	6,1941E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,71	σ_c	8,81 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ'_s	66,43 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,56	σ_s	196,15 [MPa]

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

4.13.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	24* (*altezza media lungo lo sviluppo della zona di giunto)
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16
	Ferri inf.	10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	51,95	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	240	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	200	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	80,48	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	6,1941E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,75	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	50,93	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	150,37	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo **C25/30** $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione **XD1**
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura **Poco sensibile**

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio **B450C** $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 150,37 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 240 mm

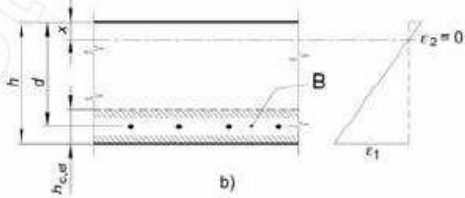
altezza utile d 200 mm

asse neutro x 80,48 mm

caso Fig. C4.1.9 b

 $h_{c,ef}$ 53,17 mm

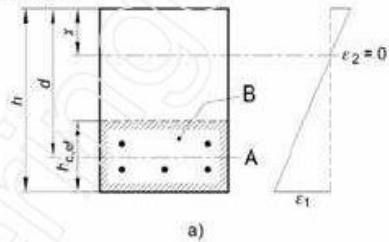
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

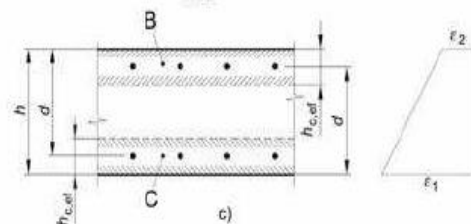
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 53.174 mm² A_s 2.011 mm² ρ_{eff} 0,04 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa ϵ_{sm} 0,0005 -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 10 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm D_{smax} 207,93 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):** $w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta_{smax} = 0,10$ mm**Valore limite di apertura della fessura:** $w_2 = 0,30$ mm **VERIFICA SODDISFATTA**

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

4.13.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	24* (*altezza media lungo lo sviluppo della zona di giunto)
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16
	Ferri inf.	10 ϕ 16

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP				
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	17,15	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	240	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d'	200	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	2.011	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	603	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	80,48	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	6,1941E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,q,p.}$	9,34	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,24	σ_c	2,23 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	16,82 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa			σ_s	49,65 [MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

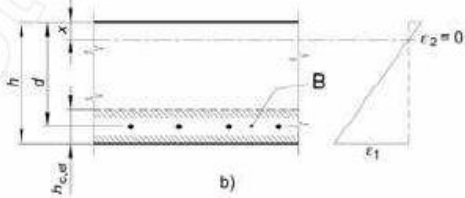
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 49,65 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 240 mmaltezza utile d 200 mmasse neutro x 80,48 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 53,17 mm

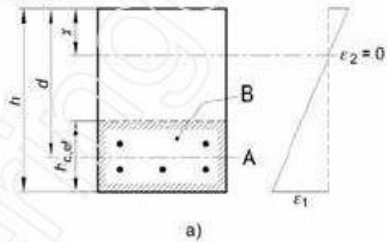
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

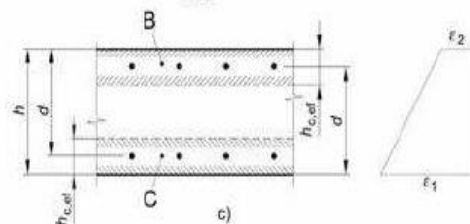
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 53.174 mm² A_s 2.011 mm² ρ_{eff} 0,04 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0001** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 10 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm **Δs_{max}** 207,93 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,03 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_l = 0,20 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

4.14 Continuità zona di giunto sollecitazioni con carichi in esercizio

COMBINAZIONE SLU

Il momento flettente agente secondo la combinazione SLU è pari a:

$$M_{Ed, SLU} = M_{p.p.} \cdot \gamma_{g1} + M_{perm.} \cdot \gamma_{g2} + M_{accidentali} \cdot \gamma_{q1} = - 3,32 \cdot 1,35 - 0,42 \cdot 1,50 - 56,69 \cdot 1,35 = - 81,64 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE RARA

Il momento flettente agente secondo la combinazione rara è pari a:

$$M_{Ed, RARA} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} = - 3,32 - 0,42 - 56,69 = - 60,43 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione frequente è pari a:

$$M_{Ed, FREQ} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_1 = - 3,32 - 0,42 - 56,69 \cdot 0,75 = - 46,26 \text{ kNm/m}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

Il momento flettente agente secondo la combinazione quasi permanente è pari a:

$$M_{Ed, QP} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} \cdot \psi_2 = - 3,32 - 0,42 - 56,69 \cdot 0,20 = - 15,08 \text{ kNm/m}$$

4.14.1 Verifica armature trasversali – Combinazione SLU

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DEFINIZIONE DEI MATERIALI

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza	LC2	1,20	[-]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	20,75	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	28,75	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2,27	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk;0,05}$	1,59	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk;0,95}$	2,94	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	30.200	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ε_{c1}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ε_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	11,76	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,06	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	9,3375	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005

Resistenza a snervamento dell'acciaio	AQ 60	f_{yk}	440	[MPa]
Livello di conoscenza e fattore di confidenza		LC2	1,20	[-]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	210.000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio		e_{yd}	0,001518	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio		e_{su}	0,0100	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio		f_{yd}	318,84	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS		s_s	352	[MPa]

SOLLECITAZIONI FLETTENTI

	M [kNm]	γ SLU	γ SLE	ψ 0,i	ψ 1,i	ψ 2,i
Peso proprio	3,32	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
Permanenti	0,42	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Accidentali	56,69	1,35	1,00	1,00	0,75	0,20
Vento	0,00	1,50	1,00	0,60	0,20	0,00

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

SEZIONE TRASVERSALE

Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]

ARMATURA TESA

Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	7	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]

ARMATURA COMPRESSA

Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	10	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	4	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]

DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE

Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	w_s	0,1468	[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ	0,1538	[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ	0,2232	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}	0,1667	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}	0,2593	[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3	0,2717	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}	0,6667	[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}	0,8095	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$	0,1013	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$	0,9373	[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$	1,0000	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}	0,1137	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}	0,2654	[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3	0,7141	[-]
	ω'_3	0,2841	[-]

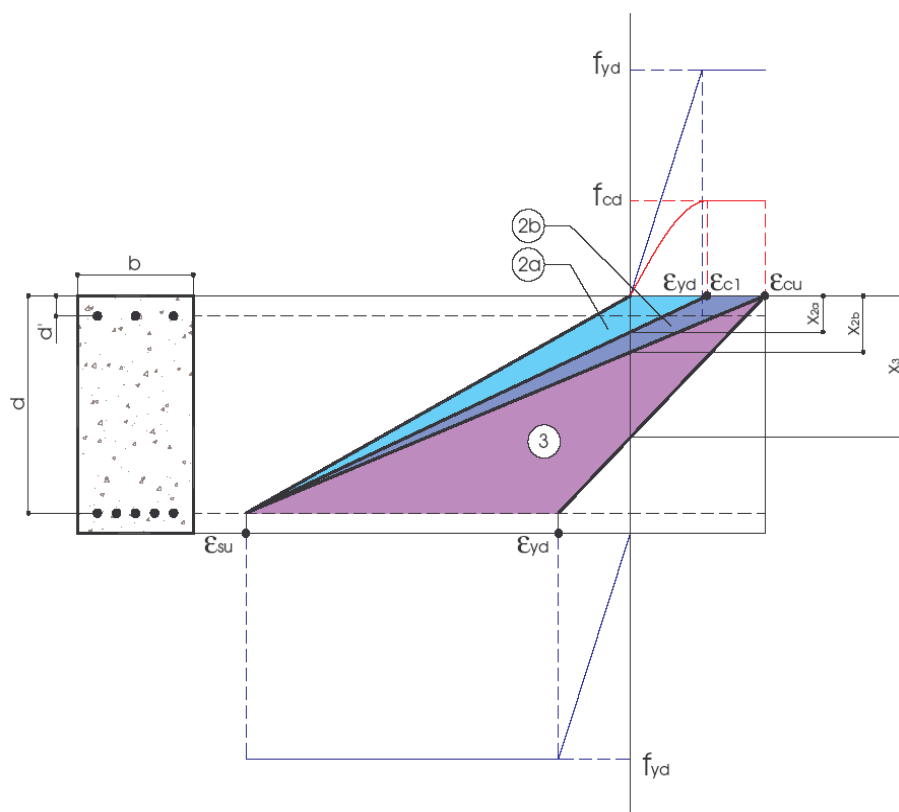
VERIFICA A SLU

CAMPO 2b

Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ	0,1909	[-]
Posizione dell'asse neutro	x	49,62	[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{c,max}$	0,0024	[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\epsilon_{s,max}$	0,0100	[-]
Coefficiente di riempimento	β	0,7174	[-]
Coefficiente di baricentro	κ	0,3865	[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s	0,3013	[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s	96,06	[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ϵ'_s	0,0005	[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	107,44	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	81,64	[kNm]

I R

0,76



4.14.2 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Rara

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - RARA				
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica				
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	60,43	[kNm]	
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]	
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]	
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]	
Copriferro	d'	40	[mm]	
Altezza utile della sezione	d	260	[mm]	
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]	
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]	
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]	
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]	
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	12,45	[MPa]	
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]	
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,47	σ_c	5,89 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa			σ_s	46,15 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	I R	0,53	σ_s	185,56 [MPa]

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

4.14.3 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Frequente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - FREQUENTE			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	46,26	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	4,51	[MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	35,33	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	142,04	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1.III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione frequente

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 142,04 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata

durata del carico breve kt 0,6

larghezza sezione b 1.000 mm

altezza sezione h 300 mm

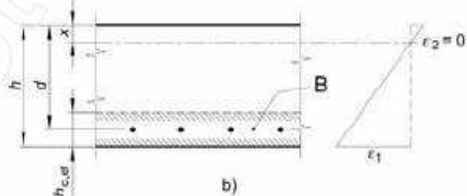
altezza utile d 260 mm

asse neutro x 83,82 mm

caso Fig. C4.1.9 b

 $h_{c,ef}$ 72,06 mm

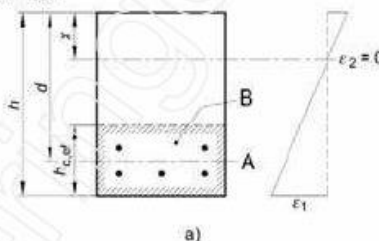
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

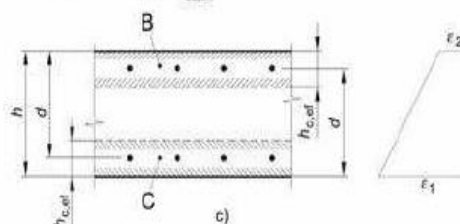
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 72.060 mm² A_s 1.407 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa ϵ_{sm} 0,0004 -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 7 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mm

ricoprimento dell'armatura c 40 mm

barre aderenza migliorata

caso flessione

 k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425

spaziatura tra i ferri d'armatura 90 mm

spaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm**Dsmax** 275,26 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):** $w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,11$ mm**Valore limite di apertura della fessura:** $w_2 = 0,30$ mm**VERIFICA SODDISFATTA**

4.14.4 Verifica armature trasversali – Combinazione SLE Quasi Permanente

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Verifica a flessione semplice: sezione rettangolare

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	30
CONDIZIONI AMBIENTALI	Aggressive (XD1)	
ARMATURA	Ferri sup.	3 ϕ 16 + 2 ϕ 16 + 2 ϕ 16
	Ferri inf.	4 ϕ 10

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLE - QP

Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente

Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	15,08	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	300	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1.000	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d'	260	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1.407	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	314	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	83,82	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	8,6064E+08	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,q,p.}$	9,34	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	352	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	I R	0,16	σ_c 1,47 [MPa]
Tensione nell'armatura compressa	σ_s	11,52	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	46,30	[MPa]

VERIFICHE SLE SEZIONE IN C.A. SECONDO NTC 2018

Pagina 1

Materiali

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 24,90$ MPa $R_{ck} = 30$ Mpa
Classe di esposizione XD1
Condizioni ambientali Aggressive Tab. 4.1. III
Armatura Poco sensibile

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Acciaio B450C $f_{yk} = 440$ Mpa

Verifica dello stato limite di fessurazione par. 4.1.2.2.4 del D.M. 17/01/2018

Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (Tab. 4.1.IV)

Condizioni ambientali Aggressive
Armatura Poco sensibile
Combinazione **Quasi permanente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_1$
Combinazione **Frequente** → Ap. Fessure $w_d \leq w_2$

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Stato limite di decompressione par. 4.1.2.2.4 a del D.M. 17/01/2018

Combinazione quasi permanente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di formazione delle fessure par. 4.1.2.2.4 b del D.M. 17/01/2018

Combinazione frequente

VERIFICA DA NON CONDURRE

Stato limite di apertura delle fessure par. 4.1.2.4.1 c del D.M. 14/01/2008

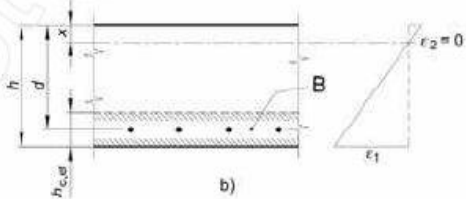
Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP. Par. C4.1.2.2.4.6

Combinazione **quasi permanente**

Calcolo della deformazione unitaria media delle barre d'armatura

 σ_s 46,30 MPa tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessuratadurata del carico **breve** k_t 0,6larghezza sezione b 1.000 mmaltezza sezione h 300 mmaltezza utile d 260 mmasse neutro x 83,82 mmcaso Fig. C4.1.9 **b** $h_{c,ef}$ 72,06 mm

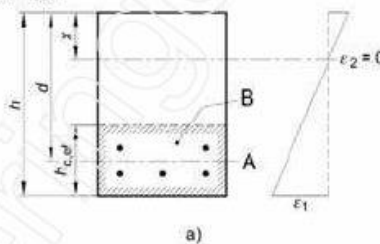
b) Piastra

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

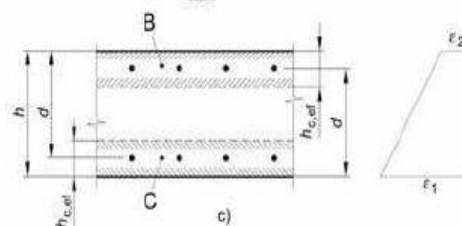
Legenda

a) Trave

A Livello del baricentro dell'acciaio

B Area tesa efficace, $A_{c,eff}$ 

c) Elemento in trazione

B Area tesa efficace di estradosso, $A_{c,eff}$ C Area tesa efficace di intradosso, $A_{c,eff}$  $A_{c,ef}$ 72.060 mm² A_s 1.407 mm² ρ_{eff} 0,02 - E_{cm} 30.200,49 MPa E_s 210.000 MPa α_e 6,95 - f_{ctm} 2,27 MPa **ϵ_{sm}** **0,0001** -

Calcolo dell'ampiezza massima tra le fessure

numero di barre di diametro f_1 n_1 7 f_1 16 mmnumero di barre di diametro f_2 n_2 0 f_2 0 mmdiametro equivalente f_{eq} 16,00 mmricoprimento dell'armatura c 40 mmbarre **aderenza migliorata**caso **flessione** k_1 0,8 k_2 0,5 k_3 3,4 k_4 0,425spaziatura tra i ferri d'armatura **90** mmspaziatura limite $5(c+f/2)$ 240,00 mm **Δs_{max}** 275,26 mm**Valore di calcolo dell'apertura di fessura (C4.1.15):**

$$w_d = \epsilon_{sm} \cdot \Delta s_{max} = 0,04 \text{ mm}$$

Valore limite di apertura della fessura:

$$w_l = 0,20 \text{ mm} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

5. CONCLUSIONI

La soletta in calcestruzzo è stata verificata nelle sezioni di sbalzo, continuità e campata sia per la zona tipica che per la zona di giunto.

Si riportano di seguito le sintesi delle verifiche svolte in termini di indici di resistenza.

5.1 Verifiche con carichi accidentali da NTC 2018

ZONA TIPICA							
IR	SLU Fondam.	SLU Eccezion.	SLE Rara		SLE Frequente	SLE Quasi Perman.	
			Tensioni cls	Tensioni acciaio	Ampiezza fessure	Tensioni cls	Ampiezza fessure
Sbalzo Zona TIPICA	0,53	0,66	0,35	0,36	0,25	0,18	0,17
Campata Zona TIPICA	1,18 Non verificata	-	1,15 Non verificata	0,79	0,54	0,38	0,19
Continuità Zona TIPICA	0,86	-	0,54	0,60	0,42	0,17	0,20
ZONA DI GIUNTO							
IR	SLU Fondam.	SLU Eccezion.	SLE Rara		SLE Frequente	SLE Quasi Perman.	
			Tensioni cls	Tensioni acciaio	Ampiezza fessure	Tensioni cls	Ampiezza fessure
Sbalzo Zona GIUNTO	0,62	0,96	0,41	0,43	0,29	0,19	0,19
Campata Zona GIUNTO	1,13 Non verificata	-	0,97	0,77	0,53	0,31	0,19
Continuità Zona GIUNTO	1,06 Non verificata	-	0,66	0,74	0,52	0,21	0,24

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------

5.2 Verifiche con carichi accidentali in esercizio da 58 ton

ZONA TIPICA							
IR	SLU Fondam.	SLU Eccezion.	SLE Rara		SLE Frequente	SLE Quasi Perman.	
			Tensioni cls	Tensioni acciaio	Ampiezza fessure	Tensioni cls	Ampiezza fessure
Sbalzo Zona TIPICA	0,46	0,62	0,31	0,31	0,22	0,17	0,16
Campata Zona TIPICA	0,67	-	0,65	0,45	0,26	0,25	0,12
Continuità Zona TIPICA	0,48	-	0,30	0,33	0,24	0,11	0,13
ZONA DI GIUNTO							
IR	SLU Fondam.	SLU Eccezion.	SLE Rara		SLE Frequente	SLE Quasi Perman.	
			Tensioni cls	Tensioni acciaio	Ampiezza fessure	Tensioni cls	Ampiezza fessure
Sbalzo Zona GIUNTO	0,78	1,04 NON Verificato	0,52	0,54	0,36	0,22	0,22
Campata Zona GIUNTO	0,82	-	0,71	0,56	0,35	0,24	0,15
Continuità Zona GIUNTO	0,76	-	0,47	0,53	0,37	0,16	0,18

5.3 Verifiche con carichi accidentali in esercizio da 45 ton

A seguito di tali indicazioni si può affermare che, essendo le sollecitazioni dovute alla presenza di mezzi da 45 ton inferiori a quelle indotte dalla presenza dei mezzi eccezionali da 58 ton, le verifiche risultano soddisfatte.

Si riconduce soltanto la verifica della combinazione eccezionale in zona di giunto della sezione di sbalzo, che forniva nel caso precedente risultati più gravosi.

COMBINAZIONE ECCEZIONALE

Il momento flettente agente secondo la combinazione Eccezionale è pari a:

$$M_{Ed, ECCEZIONALE} = M_{p.p.} + M_{perm.} + M_{accidentali} + M_{svio} = -5,42 - 5,06 - 57,43 - 1,80 - 100,01 = -137,42 \text{ kNm/m}$$

Titolo : Sbalzo - Combinazione eccezionale Zona di giunto

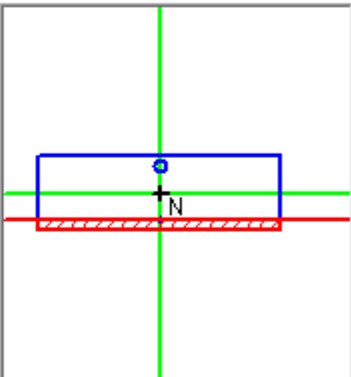
N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	16,08	4
2	3,14	26

Tipo Sezione

- ☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.



Sollecitazioni

S.L.U.

Metodo n

N _{Ed}	-80,65	0	kN
M _{xEd}	-137,42	0	kNm
M _{yEd}	0	0	

P.to applicazione N

- ☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm]
- xN
yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

- ☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-
☐ Metodo n

Tipo flessione

- ☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.

Calcola MRd

Dominio M-N

L₀ cm

Col. modello

☐ Precompresso

Materiali

FeB44k	C25/30
ε _{su} <input type="text" value="67,5"/> ‰	ε _{c2} <input type="text" value="2"/> ‰
f _{yd} <input type="text" value="440"/> N/mm²	ε _{cu} <input type="text" value="3,5"/>
E _s <input type="text" value="200.000"/> N/mm²	f _{cd} <input type="text" value="21,26"/>
E _s /E _c <input type="text" value="15"/>	f _{cc} /f _{cd} <input type="text" value="0,8"/> ?
ε _{syd} <input type="text" value="2,2"/> ‰	σ _{c,adm} <input type="text" value="9,75"/>
σ _{s,adm} <input type="text" value="255"/> N/mm²	τ _{co} <input type="text" value="0,6"/>
	τ _{c1} <input type="text" value="1,829"/>

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ε_c ‰

ε_s ‰

d cm

x x/d

δ

Indice di resistenza

$$I_R = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{137,42}{162,50} = 0,85 \rightarrow \text{La sezione è verificata}$$

	Ponti metallici sul canale Milano – Cremona – Po Verifica statica
--	----------------------------------------------------------------------