

CASSA DI ESPANSIONE DEL TORRENTE BAGANZA NEI COMUNI DI FELINO, SALA BAGANZA, COLLECCHIO E PARMA (PR-E-1047)

PROGETTO ESECUTIVO

02	04/2021	Revisione per validazione	TRESSO	BERTERO	BERTERO
01	07/2020	Revisione per osservazioni DGD e validazione	TRESSO	BERTERO	BERTERO
00	07/2019	Prima emissione	TRESSO	BERTERO	BERTERO
REV.	DATA	MODIFICHE	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZ.

IMPIANTI Elettromeccanici APPARECCHIATURE Elettromeccaniche MANUFATTO A RELAZIONE

ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE

MANDATARIA:

MANDANTI:



IL R.U.P.:

 Dott. Ing. Mirella Vergnani
 (documento firmato digitalmente)

 Progettista responsabile integrazioni
 prestazioni specialistiche e Direttore Tecnico
 della mandataria.
 Hydrodata S.p.A.
 Ord. Ing. Torino N°7570L
 Dott. Ing. Roberto Bertero
 (documento firmato digitalmente)

 Progettista/Progettisti responsabili elaborato
 Hydrodata S.p.A.
 Ord. Ing. Torino N°7570L

 Dott. Ing. Roberto Bertero
 (documento firmato digitalmente)


CODICE ELABORATO:

B	A	G	3	1	2	I	M	P	R	R	E	0	1	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ID (1)

CAP. (2)

TIPO (3)

DOC. (4)

PROGR. (5-6) REV. (7)

SCALA

 APRILE
 2021

INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO	3
1.2 RIFERIMENTI NORMATIVI.....	3
1.3 SEZIONE TIPO DEL MANUFATTO E POSIZIONE DELLE PARATOIE	4
2. CARATTERISTICHE TECNICHE DELLE PARATOIE	6
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
4. DESCRIZIONE DELLE PARATOIE E DEI DETTAGLI ESECUTIVI.....	7
5. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE PARATOIE	18
6. ANALISI DEI CARICHI	18
6.1 AZIONI A SLU – MASSIMO INVASO.....	20
6.2 AZIONI A SLU – MASSIMA REGOLAZIONE	21
6.3 AZIONI A SLV	22
6.4 AZIONI A SLD	23
7. VERIFICA DELLA STRUTTURA PRINCIPALE	24
7.1 VERIFICA DELLE TRAVI ORIZZONTALI.....	24
8. FORZE DI MANOVRA	30
8.1 ATTRITO DEI PERNI DI ROTAZIONE	31
8.2 ATTRITO VOLVENTE.....	31
8.3 ATTRITO DELLE GUARNIZIONI DI TENUTA.....	31
8.4 SPINTA IDRAULICA VERTICALE.....	31
8.5 PESO DELLA PARATOIA.....	32
8.6 FORZA MASSIMA IN APERTURA	32
8.7 PRESSIONE MASSIMA OLIO IN APERTURA	32
8.8 FORZA MASSIMA IN CHIUSURA	32
8.9 PRESSIONE MASSIMA OLIO IN CHIUSURA.....	33
9. MECCANISMO DI MANOVRA.....	33
9.1 VERIFICA DELLA POSSIBILITÀ DI CHIUSURA SOTTO FLUSSO	34
9.2 ANALISI “CARICO DI PUNTA” STELO CILINDRO OLEODINAMICO	35
10. GRUPPO “RUOTE DI SCORRIMENTO”.....	37

10.1	PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO	37
10.2	CARICHI SULLE RUOTE.....	37
11.	CENTRALINA DI COMANDO	38
11.1	PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELLA CENTRALINA	38
11.2	DIMENSIONAMENTO BATTERIA DI ACCUMULATORI	39
11.3	DESCRIZIONE DELLA CENTRALINA OLEODINAMICA.....	41
12.	ACCETTABILITA' DEI RISULTATI DEL MODELLO DI CALCOLO ADOTTATO	45

1. Premessa

La presente relazione di calcolo del sistema di paratoie del manufatto A è redatta a supporto della progettazione esecutiva della Cassa di Espansione del Torrente Baganza nei comuni di Felino, Sala Baganza, Collecchio e Parma.

1.1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il manufatto "A" costituisce il dispositivo di regolazione delle portate defluenti all'interno dell'alveo del T. Baganza. Trattasi di una struttura fondata a quota 128,50 m slm, con approfondimenti a q. 127,00 m s.l.m. in corrispondenza dei denti a monte ed a valle. I profili trasversali sono essenzialmente triangolari e presentano una larghezza alla base di 23 m. Il ciglio di sfioro è a quota 144.9 m slm e l'alveo a monte (fondo della cassa di monte) a quota 133.0 m slm; a valle del manufatto è presente una vasca di dissipazione che parte dal piede di valle del manufatto a quota 130,90 m slm. Il deflusso delle portate avviene attraverso n°4 luci di fondo di dimensioni pari a 6.00 x 3.50 m (larghezza x altezza), ciascuna delle quali è presidiata da una paratoia piana ad azionamento oleomeccanico (centrale + cilindri) e relativi comandi di manovra e controllo.

Il manufatto "A" in condizioni normali si presenta con le 4 paratoie in condizione "Aperta". Durante l'evento di piena, al fine di mettere in funzione la cassa di espansione, sarà necessario chiudere parzialmente le 4 paratoie fino a raggiungere un'altezza residua di luce di passaggio, il cui valore deriva dal modello idraulico, al fine di garantire l'efficiente funzionamento della cassa di espansione.

Nel dimensionamento degli apparati di gestione e controllo delle paratoie, al fine di consentire una più ampia gestione della movimentazione delle stesse, si è scelto di permettere un valore di chiusura totale: ogni paratoia sarà in grado di aprire e chiudere completamente la luce di passaggio nelle condizioni di massimo carico idraulico considerato (evento di piena + azione sismica) e di aprire nelle stesse condizioni.

1.2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Nell'ambito della progettazione strutturale delle paratoie per sistemi di ritenuta si possono riscontrare diverse normative, sia all'interno del panorama nazionale che in quello internazionale, che forniscono alcune delucidazioni su quali siano i criteri e gli approcci da utilizzare.

La normativa italiana in materia di dighe, redatta dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti nel Giugno del 2014, espone in linea generale i criteri progettuali per gli sbarramenti di ritenuta. Per quanto concerne la valutazione delle azioni di progetto sia allo Stato Limite Ultimo sia allo Stato Limite Esercizio si prendono come riferimento le prescrizioni della normativa tecnica per le costruzioni del 2008 (NTC2008) e il DM 26/06/2014 "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (Dighe e traverse)".

In particolare le paratoie possono essere classificate come opere accessorie, poiché trattasi di una struttura direttamente collegata alla sicurezza e alla funzionalità degli impianti di ritenuta.

In assenza quindi di una normativa specifica italiana relativa all'opera accessoria "Paratoia" si fa riferimento alla normativa tedesca DIN 19704 Stahlwasserbauten.

Questa è redatta dal Deutsche Institut Normburg e tratta tutte le tematiche legate alla progettazione di paratoie per dighe e traverse (Deutsche Institut Normburg - DIN, 1976 e 1998). Assieme alla normativa americana, è un punto di riferimento in ambito professionale. E' possibile applicare la suddetta normativa per il calcolo e il dimensionamento non solo strutturale, ma anche elettro-meccanico grazie alle versioni aggiornate. La versione del 1976 fornisce indicazioni generali sui criteri di progetto e calcolo delle componenti strutturali (ad esempio gli spessori di travi e mantello) e sulla valutazione delle forze di manovra, nonché dei suoi dispositivi.

Relativamente alla Norma armonizzata EN 1090-1:2009/EC 1-2011 "Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali" descrive i requisiti e le modalità per l'apposizione della Marcatura CE, in accordo al Regolamento Europeo (UE) n. 305/2011. Tutti i produttori di strutture in acciaio e alluminio, che sono già tenuti obbligatoriamente al rispetto degli specifici requisiti previsti per il comparto degli acciai per carpenteria metallica devono prevedere, per i propri prodotti e stabilimenti produttivi anche l'implementazione della Marcatura CE secondo EN 1090-1.

Si ritiene tuttavia non necessaria l'applicazione della norma succitata in quanto è possibile ricondurre le specifiche alla "direttive Macchine" considerato che le paratoie sono classificate come "accessori" a corredo del manufatto di ritenuta.

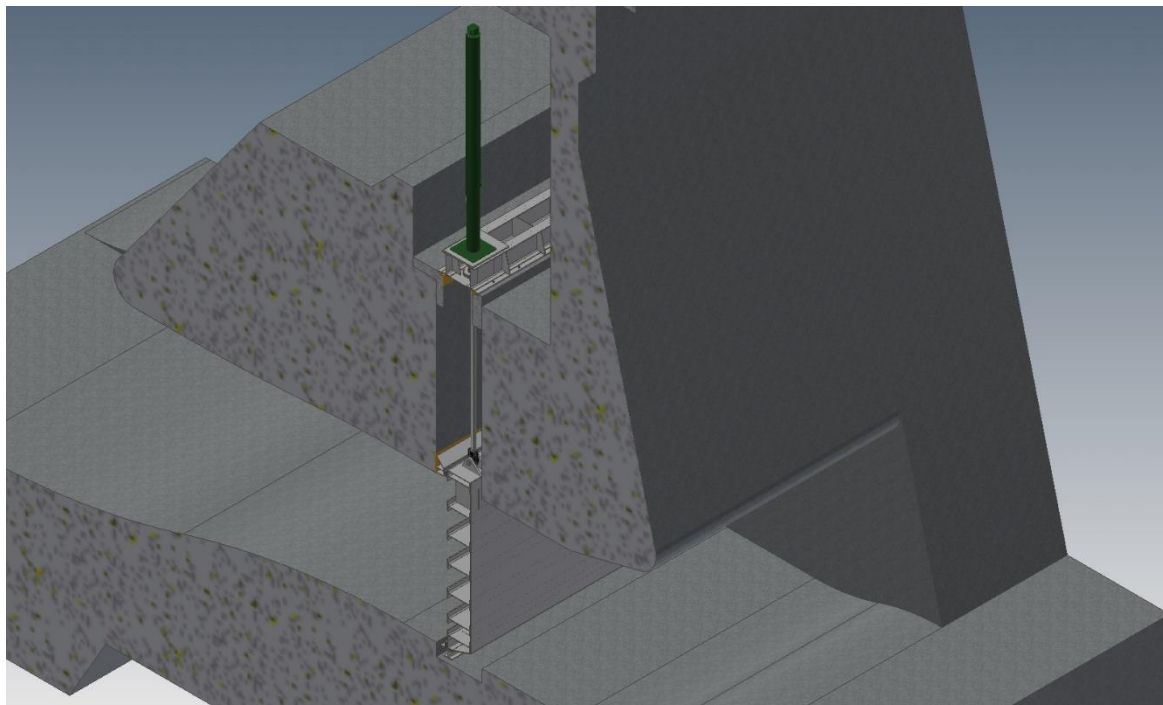
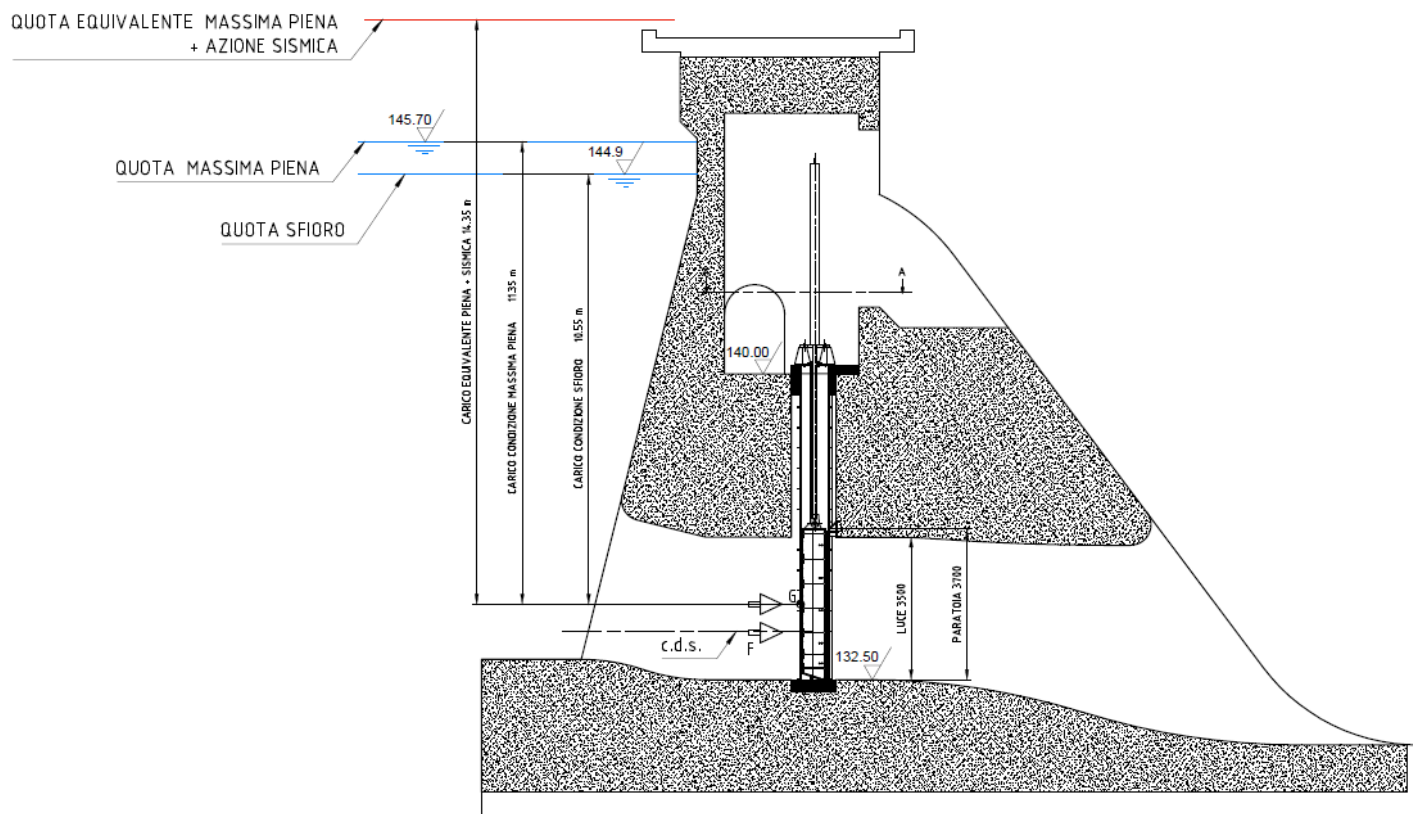
Tutte le carpenterie in questione saranno realizzate mediante unioni saldate secondo quanto richiesto dalla norma EN ISO 15609-1 /2006.

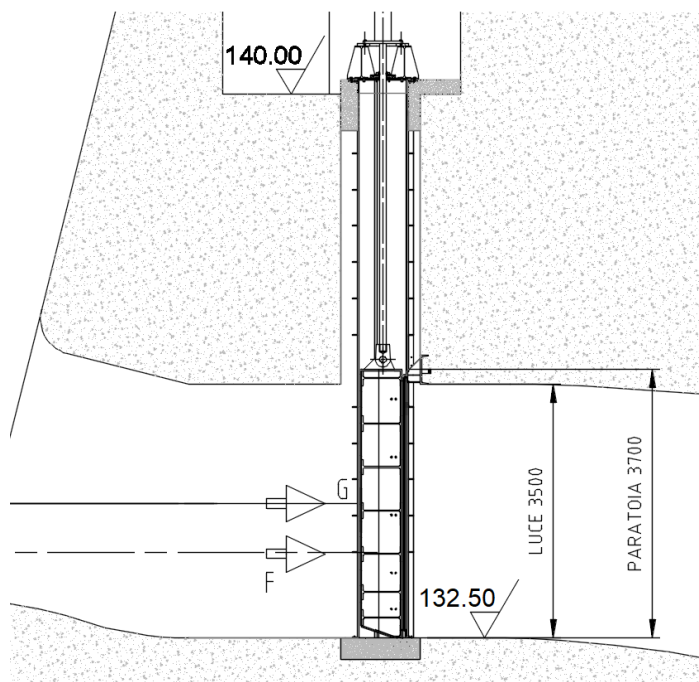
Relativamente alle normative di riferimento per le centraline oleodinamiche e accessori, per la stesura del presente documento, si fa riferimento alle seguenti:

- Motori elettrici asincroni trifase, a normativa EC 4/2014 – IEC60034-31-1 2014 IE3
- Pompe ad ingranaggi esterni, costruzione alluminio, a flangitura europea – 4 viti e filettatura ISO 60° conforme a ISO/R 262
- Elettrovalvole direzionali, serie a cursore, grandezze idonee per portate e pressioni in gioco. Montaggio su basi ISO 4401.
- Elettrovalvole e valvole a tenuta, esecuzioni ad otturatore, cartucce cavità SAE
- Raccordi in acciaio al carbonio o inox AISI 316, a norme DIN 2353, cono a norma DIN 3861.
- Tubi rigidi in acciaio INOX secondo UNI EN 10216-5
- Tubi flessibili con trecce metalliche, a norme SAE 100 R / EN 853 – 857 – 856
- Accumulatori a sacca in acciaio al carbonio 1-50 litri, EN 14359 97/23 EC
- Protezione accumulatori con valvole di sicurezza certificate secondo normative PED 2014/68 CE -97/23/EC
- Cilindri oleodinamici ISO 6020/2

1.3 SEZIONE TIPO DEL MANUFATTO E POSIZIONE DELLE PARATOIE

La sezione tipo del manufatto A in corrispondenza delle paratoie è rappresentata nella seguente figura.





2. Caratteristiche tecniche delle paratoie

• Larghezza libera della luce:	6	m
• Altezza libera della luce:	3.5	m
• Interasse tenute verticali:	6.1	m
• Altezza paratoia:	3.7	m
• Interasse ruote:	6.285	m
• Quota fondo paratoia	132.5	m s.l.m.
• Quota sfioro	144.9	m s.l.m.
• Quota massima piena	145.7	m s.l.m.
• Norme di calcolo:	DIN 19704	

3. Caratteristiche dei materiali

Acciaio strutturale del mantello in lamiera

EN 10025 S355 JR

• Tensione minima di rottura	$f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$
• Tensione minima di snervamento	$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$
• Tensione di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / 1.05 = 338 \text{ N/mm}^2$
• Tensione di taglio di calcolo	$f_{Rd} = f_{yk} / (\sqrt{3} * 1.05) = 195 \text{ N/mm}^2$
• Modulo elastico	$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
• Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.3$

Acciaio strutturale delle travi in profilato
EN 10025 S355 JR

- Tensione minima di rottura $f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$
- Tensione minima di snervamento $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$
- Tensione di calcolo $f_{yd} = f_{yk} / 1.05 = 338 \text{ N/mm}^2$
- Tensione di taglio di calcolo $f_{Rd} = f_{yk} / (\sqrt{3} * 1.05) = 195 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di Poisson $\nu = 0.3$

Le strutture delle paratoie saranno in acciaio elettrosaldato superficialmente trattato con apposito ciclo di verniciatura resistente all'acqua.

Le saldature devono essere continue, con cordoni multipass e devono avere le dimensioni indicate nella seguente tabella, in modo da garantire l'adequata resistenza alle sollecitazioni:

DIMENSIONI IN (mm)
SPECIFICHE GENERALI DI SALDATURA:
 - Giunti a T: saldat. ad angolo, dove non indicato $z > 0.7sp.$ min.
 - Giunti testa a testa: saldatura a piena penetrazione
 Eseguire saldature con cordoni multipass
 La saldatura a tratti è permessa solamente dove espressamente indicato

Ulteriori indicazioni di dettaglio saranno fornite dall'appaltatore in fase di fornitura delle paratoie, ai fini dell'approvazione da parte della DL.

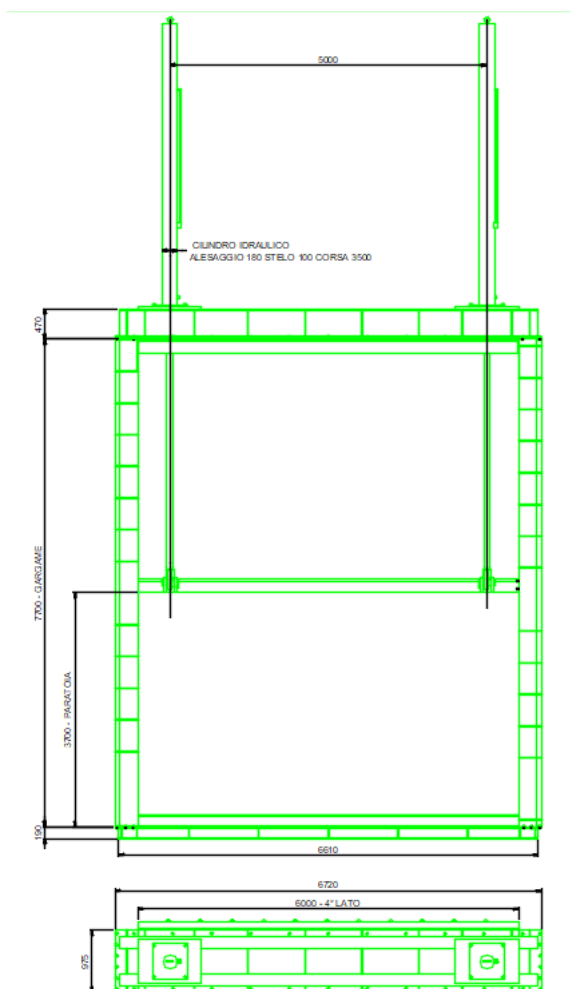
La classe di esecuzione delle carpenterie metalliche è EXC2.

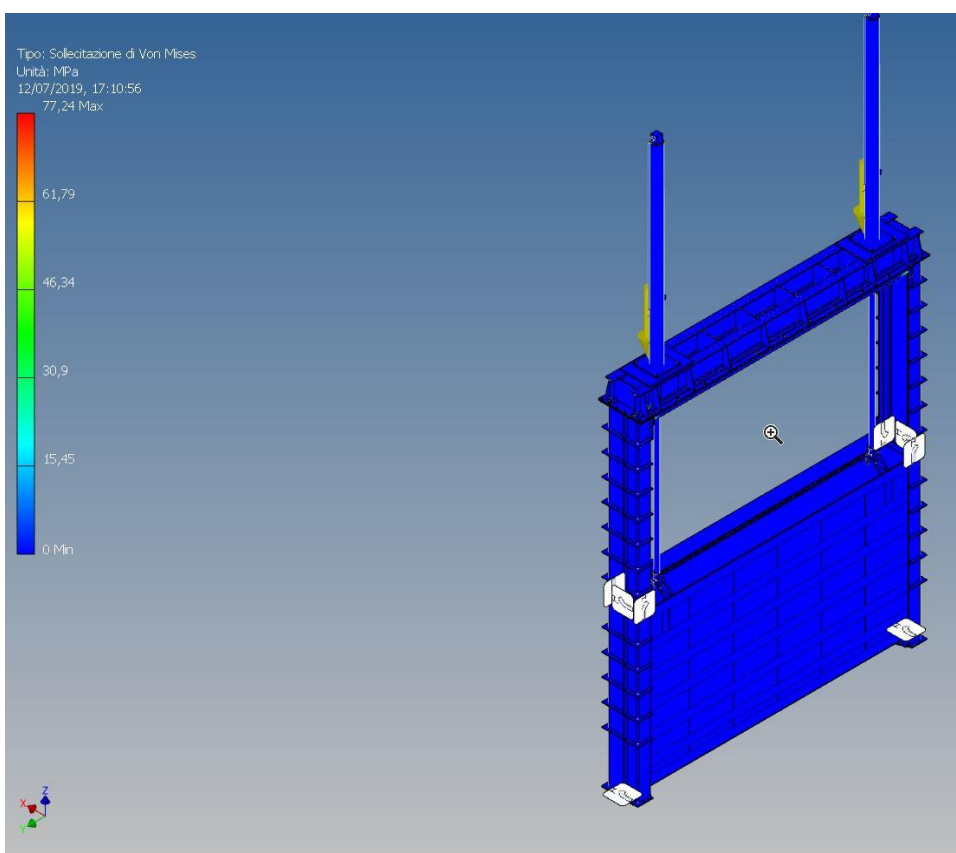
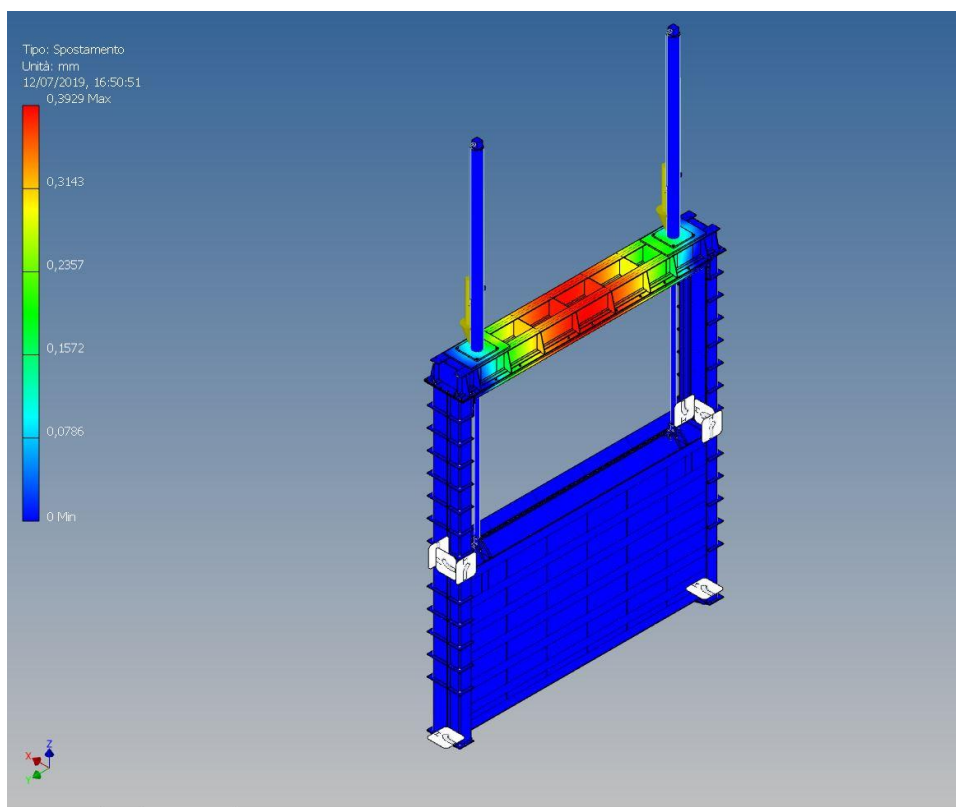
Table B.3 — Routine surveillance intervals

Execution class	Intervals between inspections of manufacturer's FPC after the ITT (years)
EXC1 and EXC2	1 – 2 – 3 – 3
EXC3 and EXC4	1 – 1 – 2 – 3 – 3

4. Descrizione delle paratoie e dei dettagli esecutivi

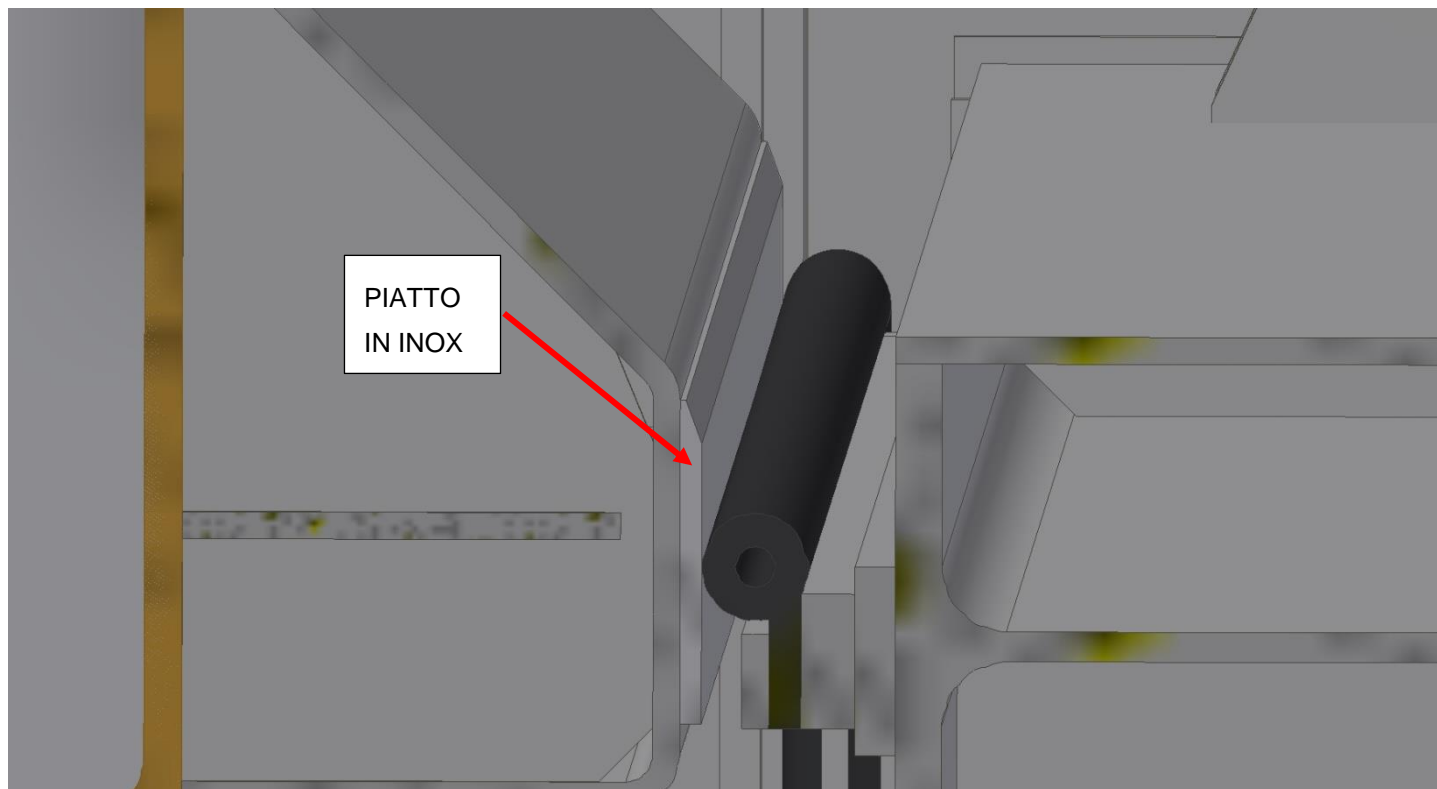
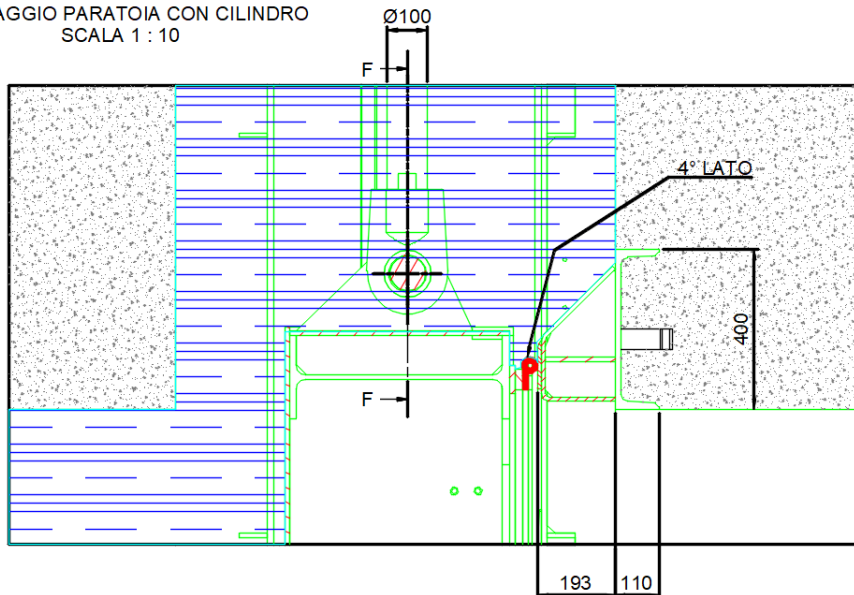
Le paratoie installate nel “manufatto A” saranno organi di tenuta “piana” carrellate con 5 coppie di ruote che scorrono in appositi “gargami” inghisati nel manufatto principale in calcestruzzo. Tutti i manufatti (scudi, gargami) sono dimensionati con i criteri di seguito illustrati.



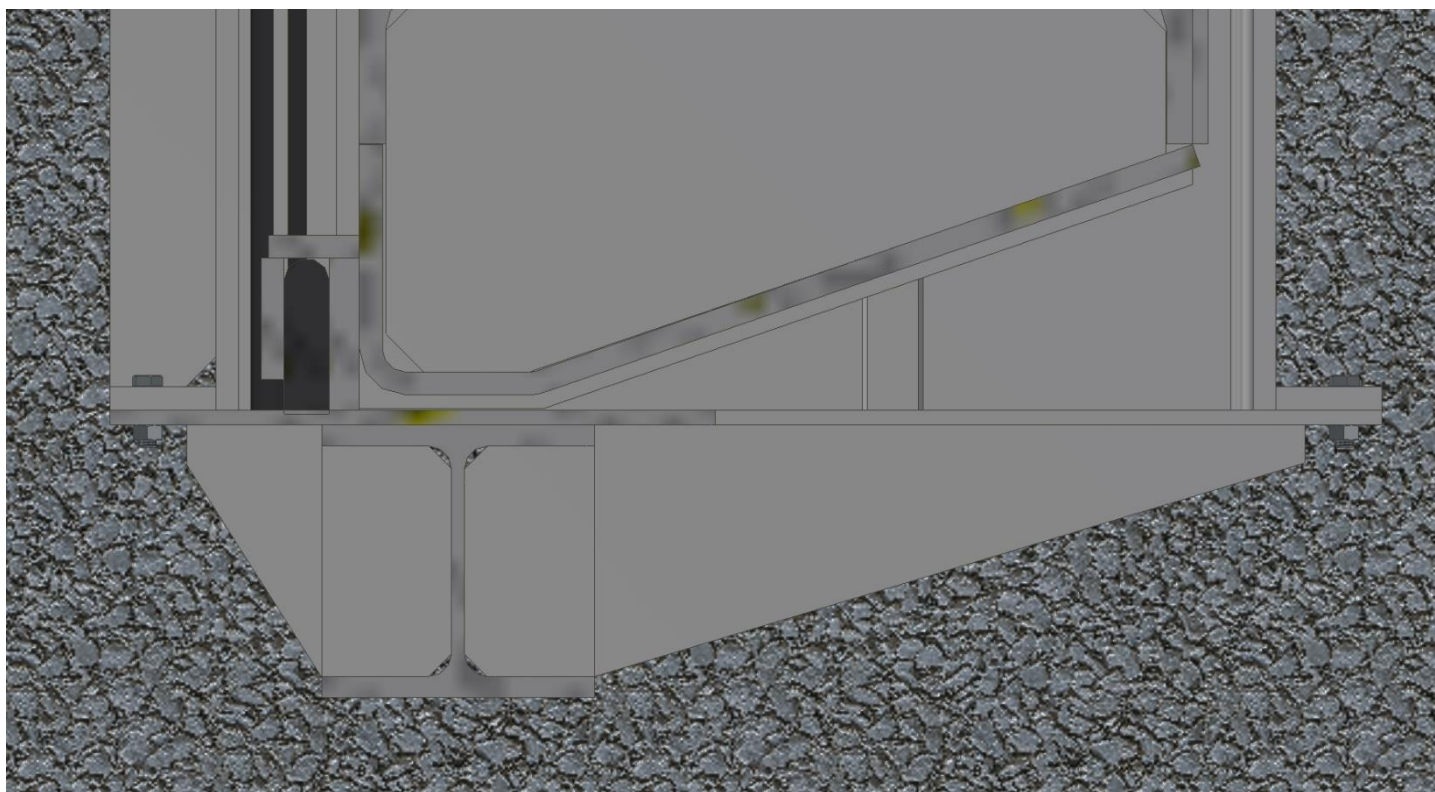
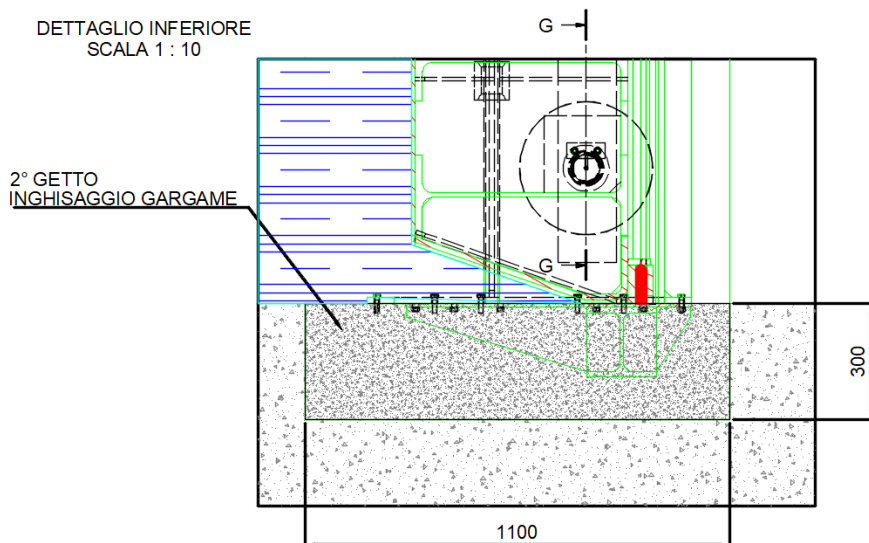


Le paratoie avranno tenuta a 4 lati garantita nella condizione di “paratoia chiusa”. Nelle condizioni di apertura parziale, la tenuta sarà unicamente funzionale sui due lati verticali.

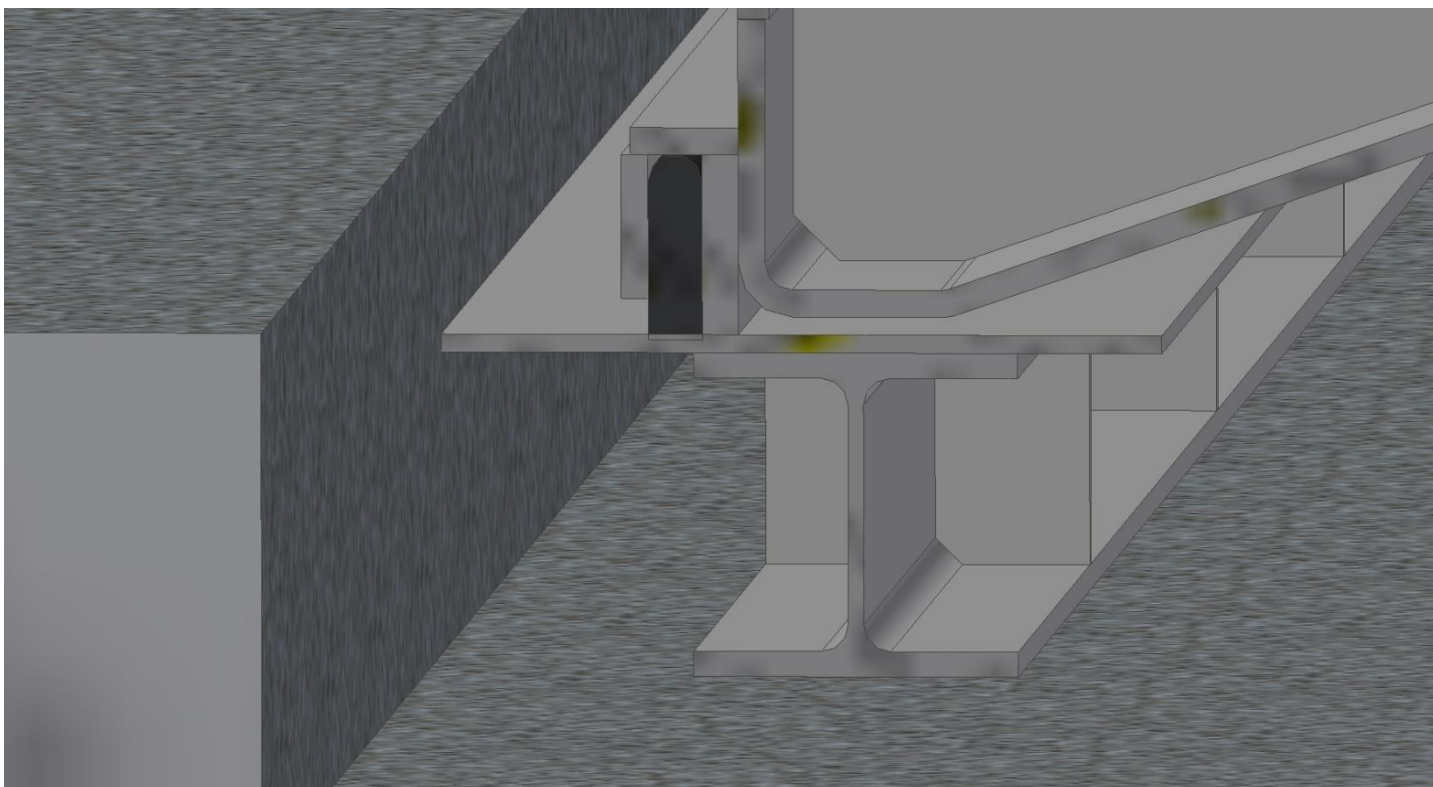
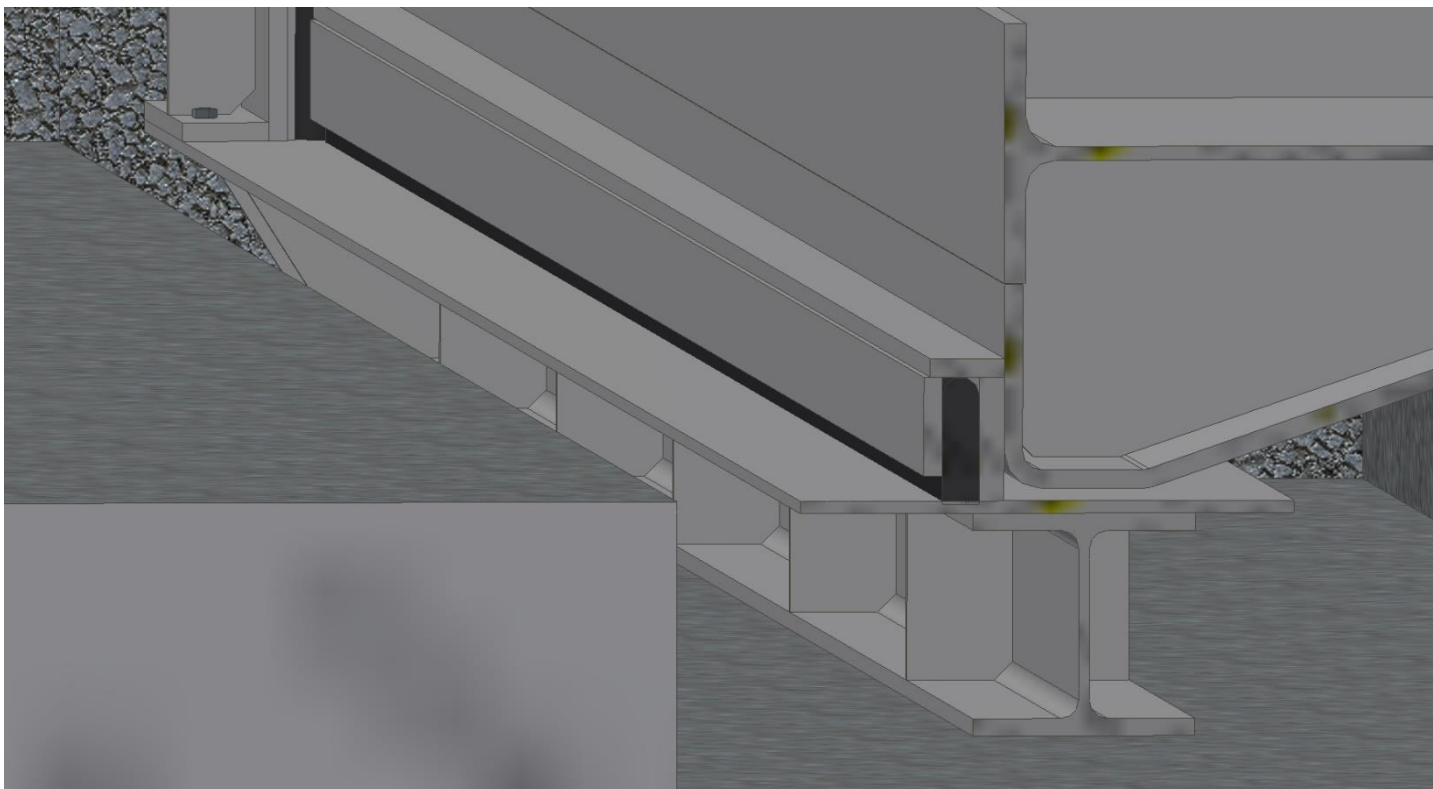
DETTAGLIO TENUTA 4° LATO
STAFFAGGIO PARATOIA CON CILINDRO
SCALA 1 : 10

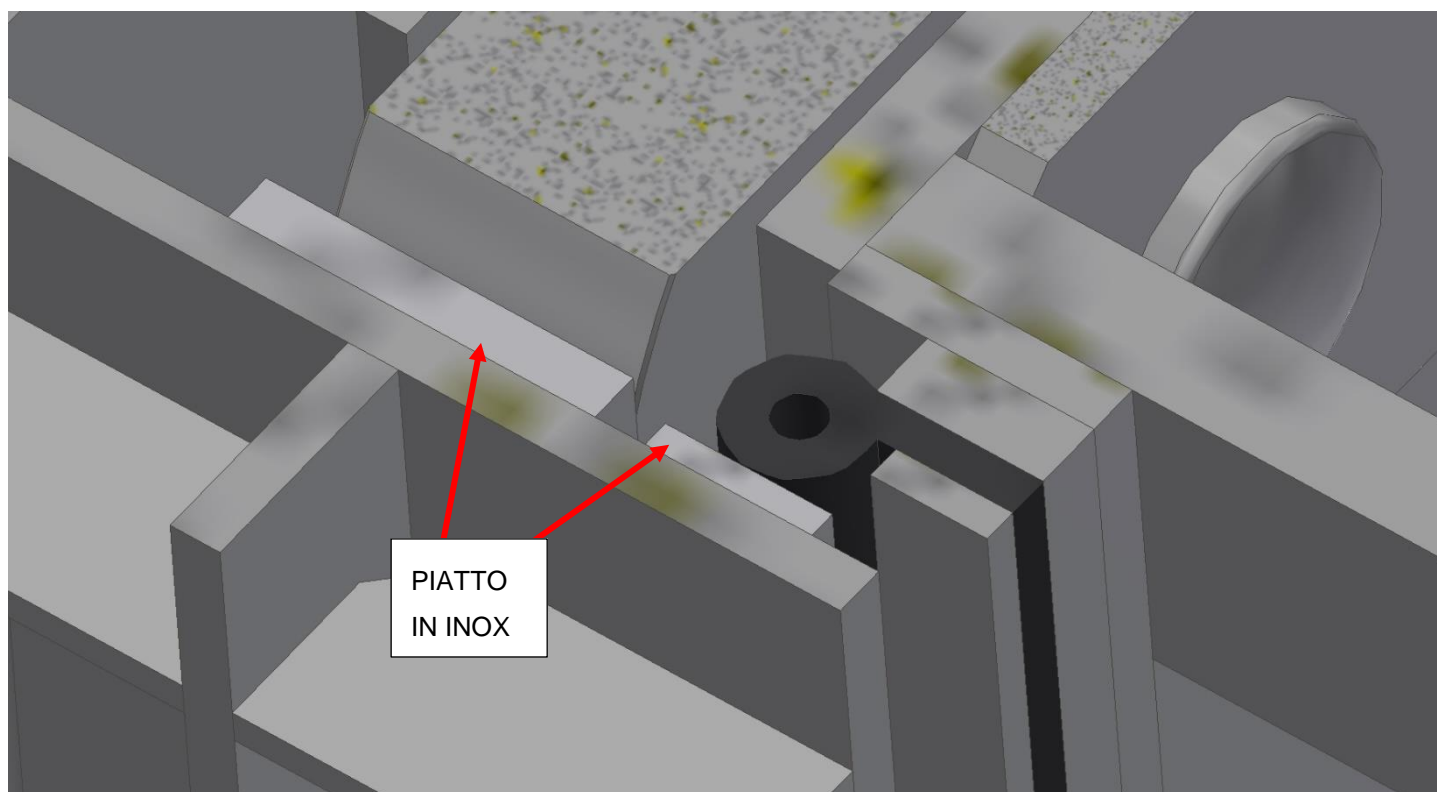
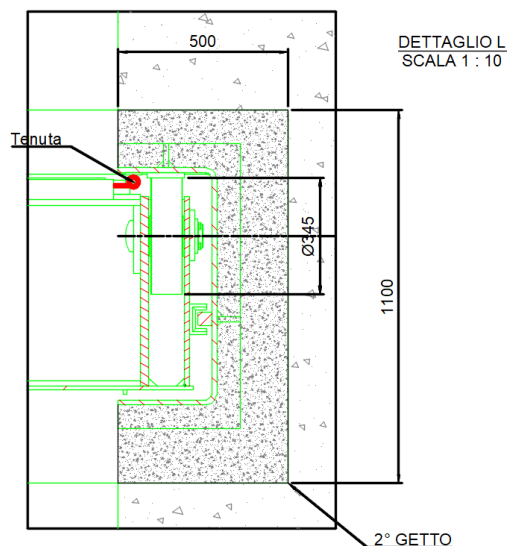


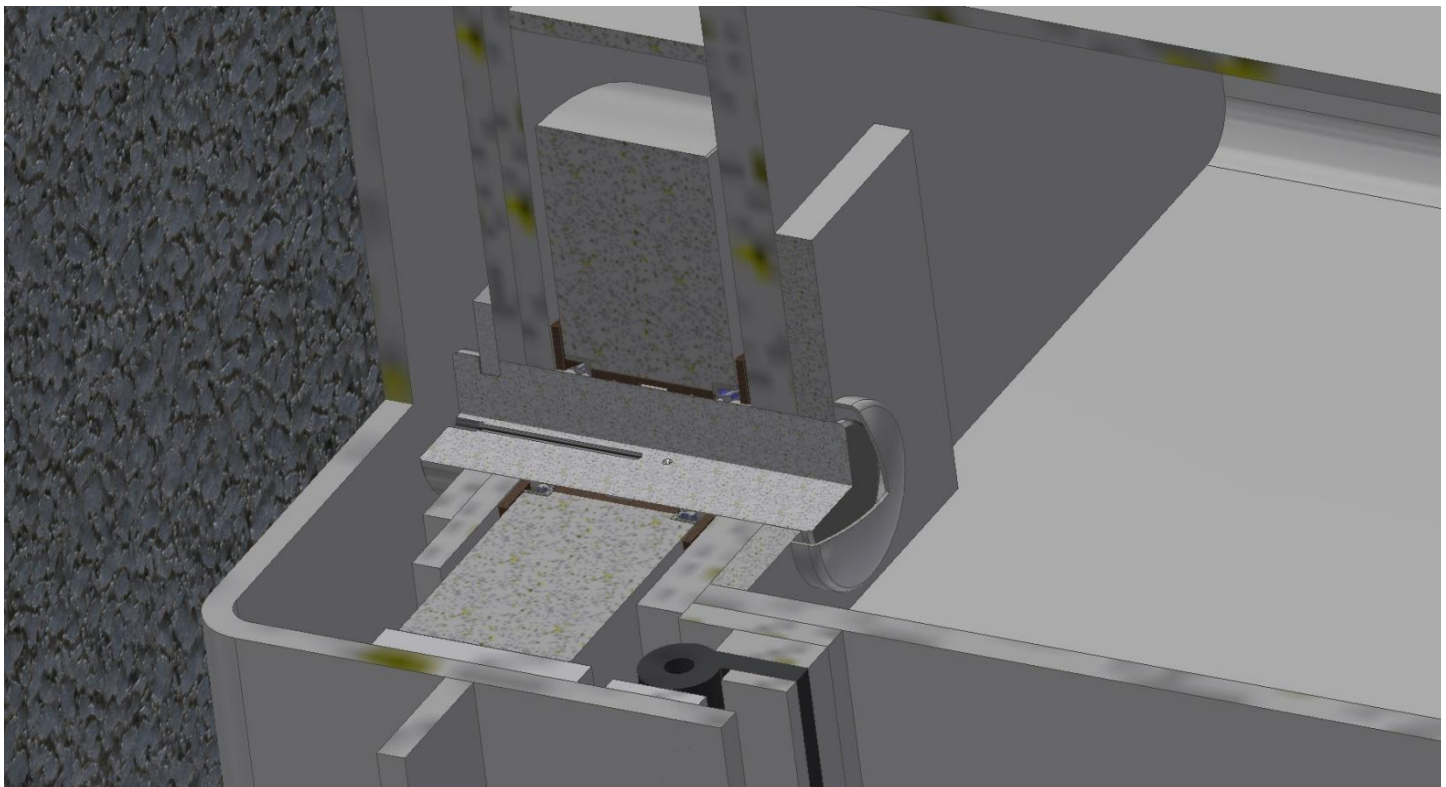
Tutte le guarnizioni di tenuta a strisciamento sui diaframmi fanno riscontro su apposite sedi in INOX applicate sui gargami. Questo al fine di garantire una maggiore durabilità ed efficacia delle tenute applicate.



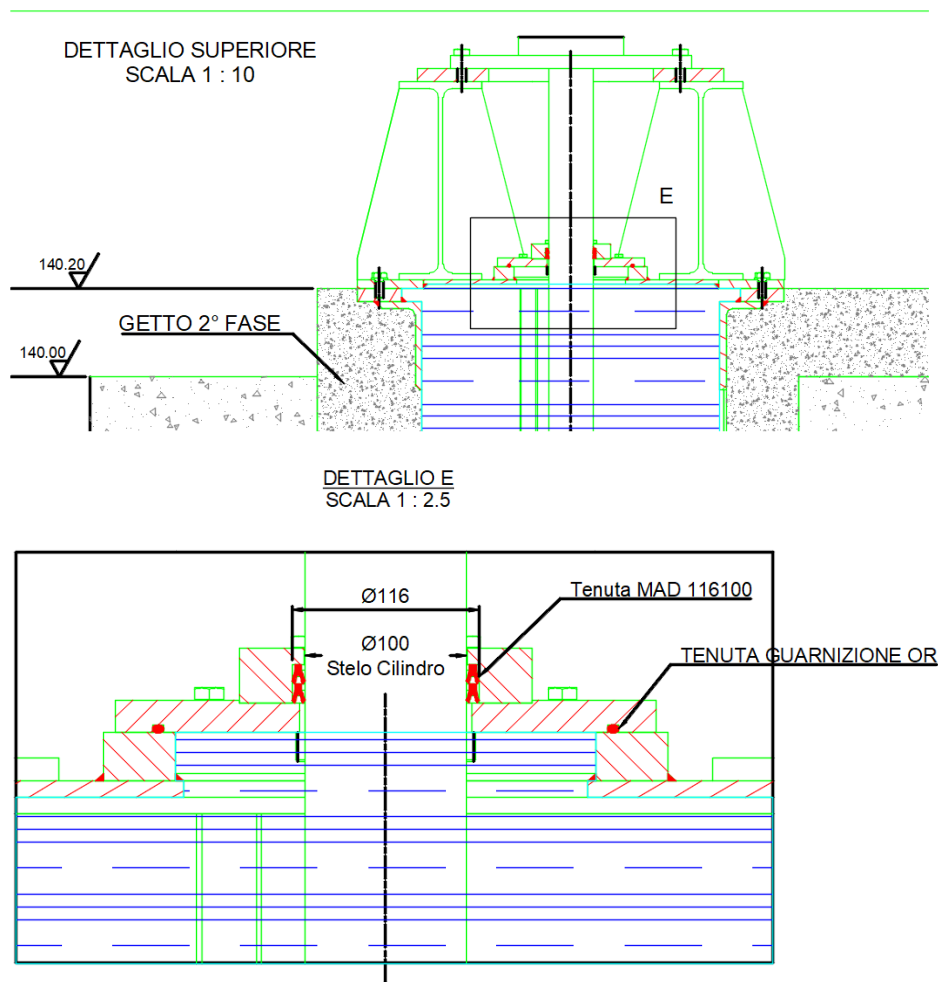
Si predilige, ove possibile, scegliere la tenuta degli scudi verso “VALLE” in quanto si semplifica notevolmente il posizionamento evitando in tal modo di dover inserire appositi “cunei” di pressione. Inoltre la garanzia di “tenuta” dello scudo è, in questo caso, amplificata dalla presenza di una “spinta” favorevole sullo scudo.







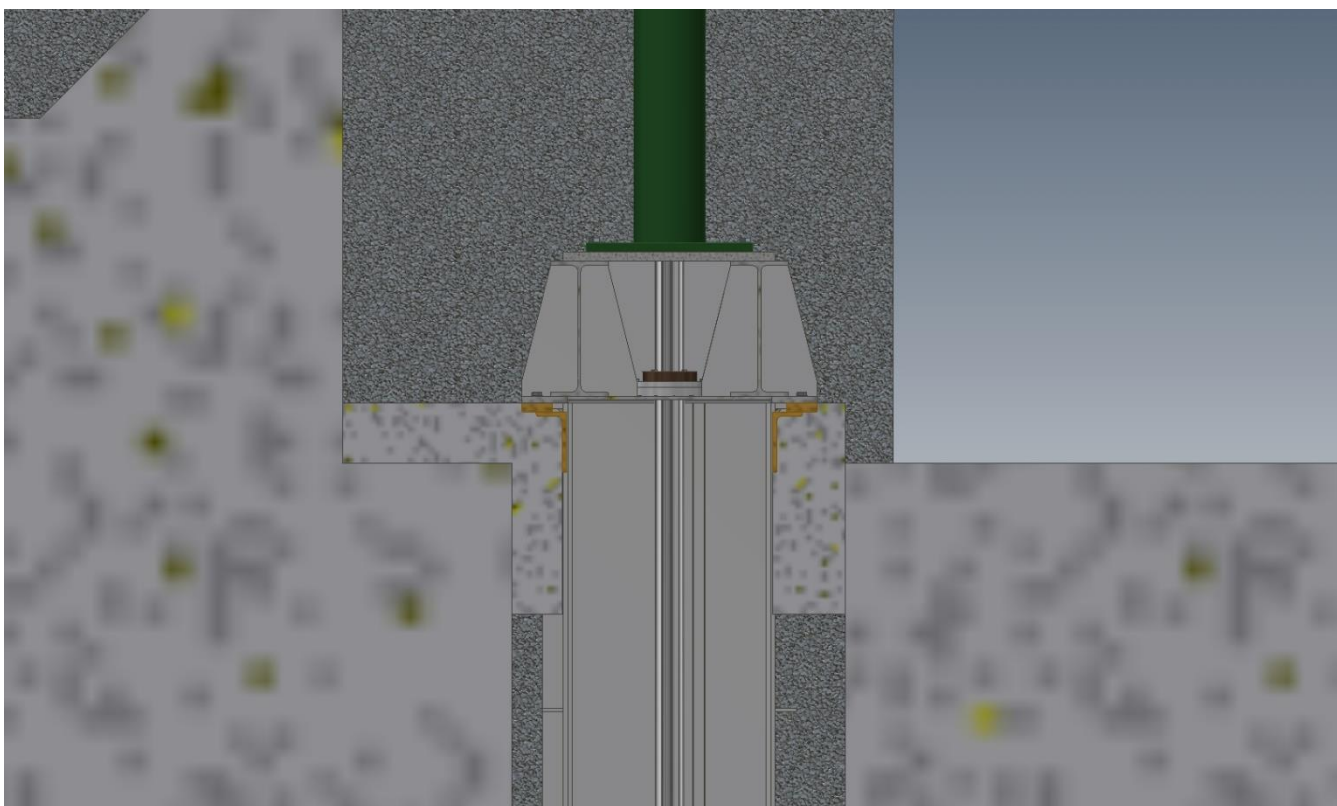
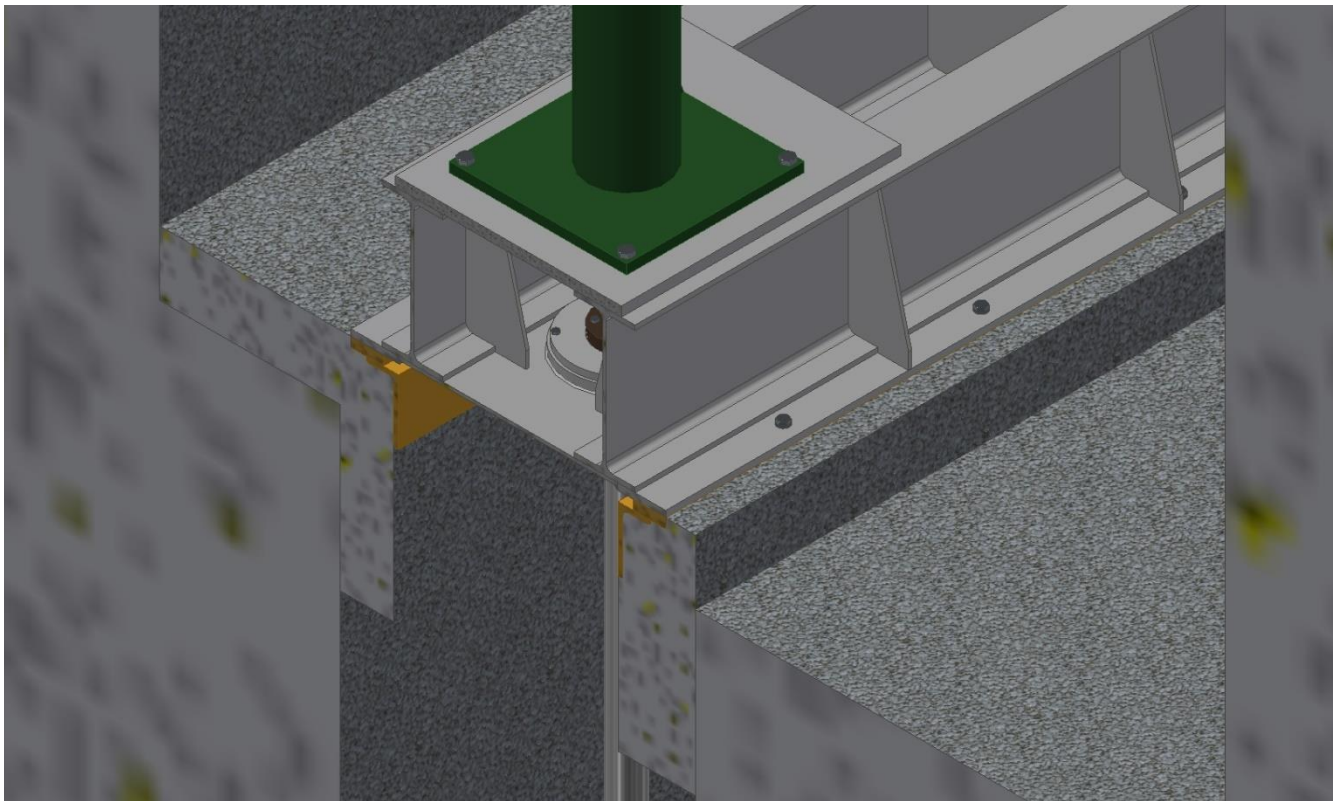
Al fine di evitare “rigurgiti” di acqua all’interno del vano del gargame che potrebbe interessare la sommità dello stesso e raggiungere il locale ospitante i cilindri oleodinamici, è stata prevista apposita “flangia di chiusura” superiore che per il tramite di idonee tenute sugli steli (indipendenti dalle tenute oleodinamiche) isola la camera ospitante gli attuatori.

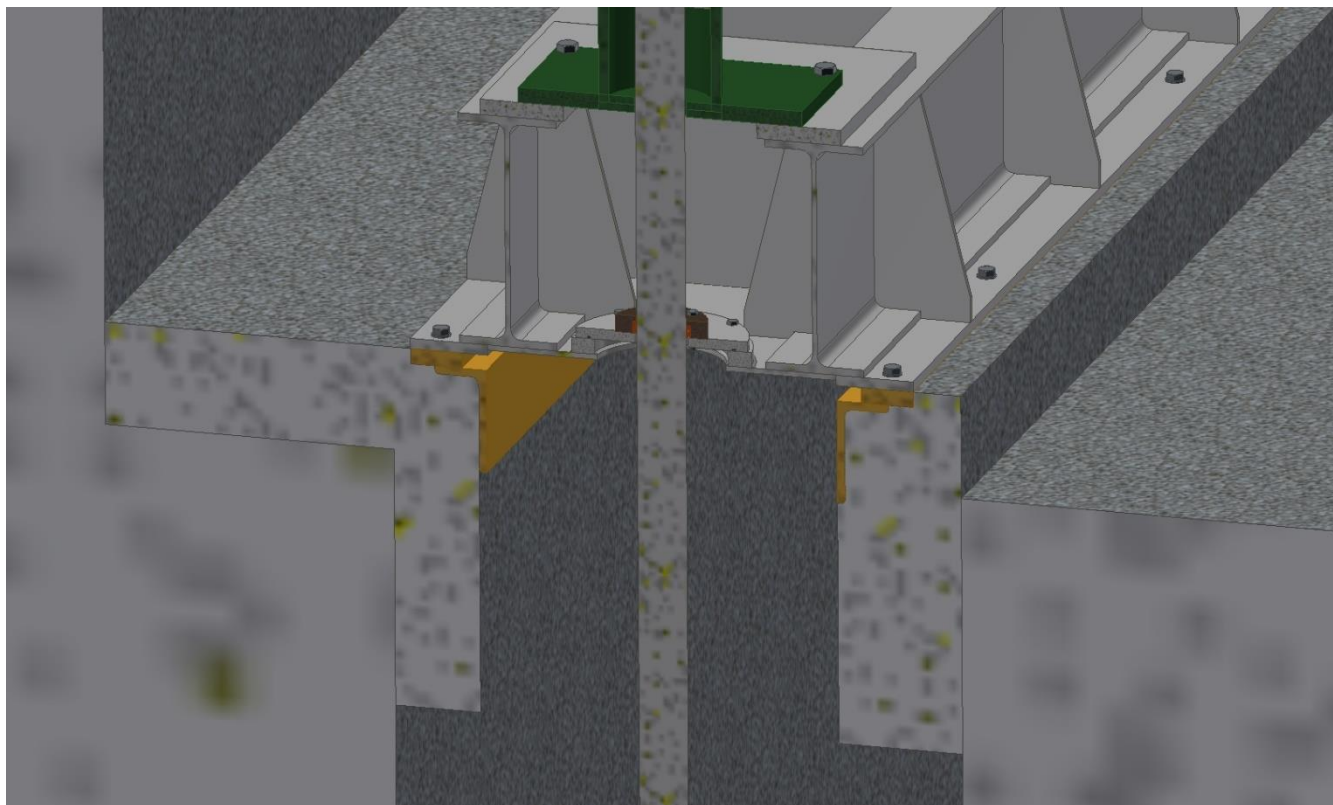


Il sistema di tenuta proposto è realizzato mediante apposita “cartuccia di tenuta” ospitante 2 guarnizioni di scorrimento tipo MAD .

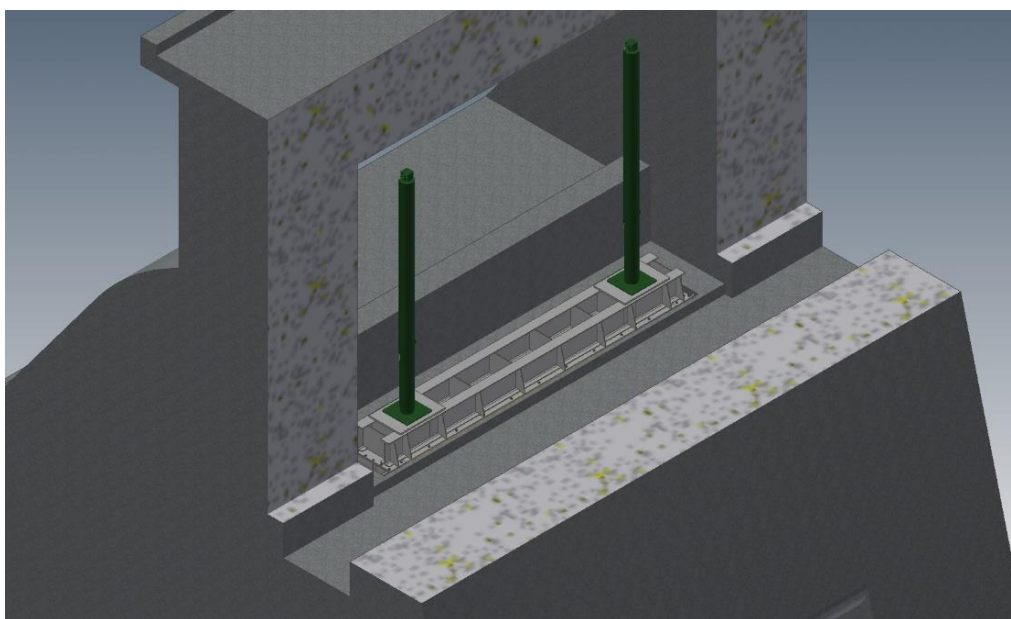
Dette guarnizioni realizzate in costruzione “splittabile” in modo da permettere l’agevole sostituzione delle stesse.

Detta soluzione è stata scelta in sostituzione del “premistoppa” in quanto non necessita operazioni di regolazione indispensabili nel caso di applicazione di tenuta a baderna.





Ogni paratoia sarà corredata di n° 2 cilindri oleodinamici all'occorrenza impiegabili a “doppio effetto” dimensionati per poter operare alla P_{max} di 250 bar. Ogni attuatore oleodinamico sarà corredata di apposito sensore di posizione interno (tipo Baluff) che dialogando con il sistema di gestione e controllo sarà in grado di segnalare in tempo reale il grado di apertura della paratoia. Non sono stati previsti sistemi indipendenti di iniezione di olio per i cilindri oleodinamici in quanto potrebbero complicare il funzionamento in caso di azionamento a “gravità”. Il parallelismo idraulico sarà tuttavia garantito da un apposito cablaggio simmetrico delle tubazioni di adduzione olio.



5. Criteri di dimensionamento delle paratoie

Occorre premettere che le paratoie in condizioni di esercizio standard non hanno la funzione operativa di trattenimento del livello di acqua nelle condizioni di massimo invaso del bacino sotteso e pertanto la movimentazione completa (corsa completa in apertura e chiusura della paratoia pari a 3.5 m), con il livello massimo di ritenuta è da considerare un evento eccezionale.

In ogni caso, secondo un criterio di sicurezza, i manufatti delle opere di sezionamento (scudi paratoie, gargami e cilindri idraulici) sono stati dimensionati in modo da sopportare efficacemente, con relativo margine di sicurezza, la condizione più gravosa che si individua nelle condizioni di carico a SLU e in condizioni sismiche.

Considerando le diverse condizioni di esercizio, non vengono installati “blocchi meccanici” che impediscano la chiusura delle paratoie oltre il valore di luce residua.

Appositi trasduttori di posizione tipo “Balluff” installati all’interno dei cilindri oleodinamici permetteranno un continuo monitoraggio della posizione delle paratoie sui pannelli operatore.

Ogni paratoia sarà dotata di N°2 attuatori idraulici comandati da apposita centralina oleodinamica dedicata che avrà la funzione di comandare in chiusura e apertura la paratoia annessa.

Le paratoie sono dimensionate per poter attuare la chiusura, fino alla posizione voluta, per mezzo di peso proprio (chiusura a gravità). Per ragioni di sicurezza nel dimensionamento degli accessori idraulici, ogni paratoia garantisce la chiusura totale a gravità in caso di livello massimo di invaso pari alla quota sfioro. Tuttavia è possibile attuare una chiusura comandata (comando a doppio effetto con forzatura di chiusura) nel caso di quota del livello idrico superiore iniettando l’olio nella camera superiore del cilindro.

Altresì le apparecchiature sono state dimensionate per garantire l’apertura completa della paratoia anche in condizione di quota massima di invaso e di evento di piena + azione sismica iniettando efficacemente l’olio nella camera del cilindro lato stelo.

In caso di assenza di energia elettrica, un’apposita batteria di accumulatori a sacca di azoto permette una movimentazione completa dei cilindri della paratoia indipendentemente dalle condizioni di invaso.

Per ultimo è possibile pressurizzare i circuiti oleodinamici e comandare le valvole di movimentazione anche in assenza di ogni fonte energetica per mezzo di apposita pompa manuale e leve di comando manuale installate sulle elettrovalvole.

6. Analisi dei carichi

Si considera la paratoia avente le seguenti caratteristiche geometriche (valide in tutte le condizioni):

• Quota fondo paratoia	132.5	m s.l.m.
• Altezza scudo paratoia	3.7	m
• Altezza luce paratoia	3.5	m
• Larghezza scudo paratoia	6.15	m

• Larghezza luce paratoia	6	m
• Interasse ruote paratoia	6.28	m
• Quota baricentro paratoia in posizione chiusa	134.35	m s.l.m.

Il **peso proprio** della paratoia è pari a circa 137 kN.

Le verifiche sono condotte in condizioni di paratoia completamente chiusa; i carichi considerati sono relativi al livello del battente d'acqua all'interno del bacino di ritenuta, nelle diverse condizioni di verifica di seguito illustrate:

• SLU statica - Quota massima piena	145.7	m s.l.m.
• SLV / SLD - Quota sfioro (massima regolazione)	144.9	m s.l.m.

Il calcolo della **spinta inerziale dovuta alla paratoia** tiene conto di un peso della paratoia pari a 137 kN e applica i seguenti valori di accelerazione orizzontale:

$$a = 0,103 \text{ g SLD} \qquad a = 0,288 \text{ g SLV}$$

Il calcolo della **spinta inerziale dell'acqua** in condizioni sismiche è effettuato utilizzando la formulazione delle NTD2014, secondo la quale:

$$p = a \times \rho \times c \times y_0$$

dove: p = pressione sulla paratoia

$$a = \text{accelerazione orizzontale massima con } a = 0,103 \text{ g SLD} \qquad a = 0,288 \text{ g SLV}$$

ρ = massa per unità di volume dell'acqua

y_0 = differenza tra la quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto più depresso dell'alveo naturale al piede del paramento, pari a 130.9 m s.l.m.

$$c = \frac{c_m}{2} \left[\frac{y}{y_0} \left(2 - \frac{y}{y_0} \right) + \sqrt{\frac{y}{y_0} \left(2 - \frac{y}{y_0} \right)} \right]$$

y = differenza tra la quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto generico del paramento a cui è associata la pressione p;

$c_m = -0,0073\alpha + 0,7412$ in cui α è l'angolo di inclinazione del paramento rispetto alla verticale espresso in gradi sessagesimali. Poiché nel caso in esame $\alpha = 0^\circ$ si assume $c_m = 0,7412$.

Dato lo schema statico e le condizioni di esercizio della paratoia, le altre azioni previste in normativa non sono applicabili al caso in oggetto (es. coazioni per ritiro, spinta del ghiaccio, spinta dovuta all'interrimento, ecc.) oppure sono di carattere secondario (es. coazioni di origine termica). Si riportano nel seguito i carichi orizzontali agenti sulla paratoia nelle diverse condizioni di carico.

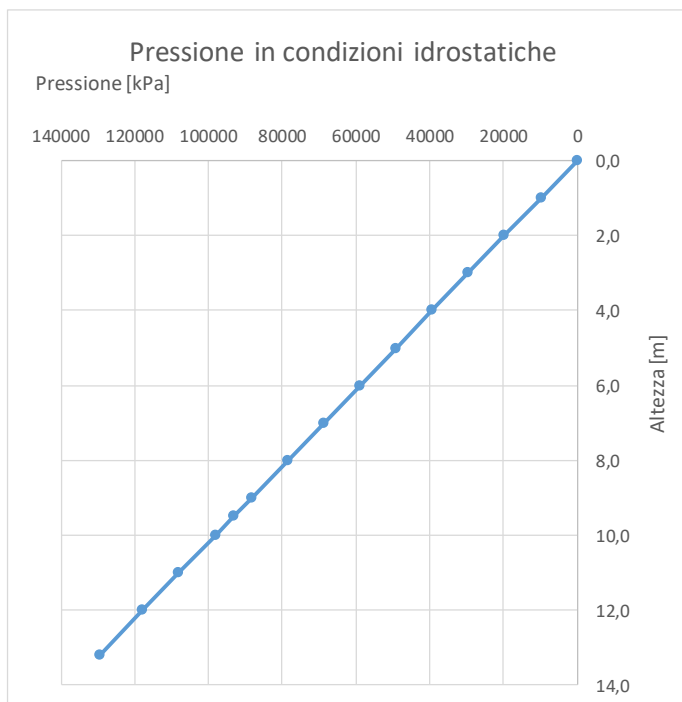
6.1 AZIONI A SLU – MASSIMO INVASO

Caratteristiche geometriche

y H	=	145,7 m slm	Quota pelo libero dell'invaso
y 1	=	132,5 m slm	Quota di fondo della paratoia
y 2	=	136,2 m slm	Quota di sommità della paratoia
A	=	3,7 m	Altezza della paratoia
B	=	6,155 m	Larghezza della paratoia
C	=	3,5 m	Luce della paratoia
S	=	22,77 mq	Superficie dello scudo
QG	=	134,35 m slm	Quota del baricentro della paratoia
yG	=	11,35 m	Quota del baricentro della paratoia dalla quota di invasore
H1	=	9,5 m	Tirante al bordo superiore della paratoia
H	=	13,2 m	Tirante massimo

Calcolo spinta idrostatica

p sup	=	93195 kPa	Pressione minima sulla paratoia (bordo superiore)
p inf	=	129492 kPa	Pressione massima sulla paratoia (bordo inferiore)
p media	=	111343,5 kPa	Pressione media sulla paratoia (baricentro)
Fidro	=	2536 kN	Forza idrostatica sulla paratoia (baricentro)
Igg	=	25,98 m ⁴	Momento d'inerzia dello scudo
yF	=	134,25 m slm	Quota del centro di spinta
yF	=	11,45 m	Affondamento del centro di spinta



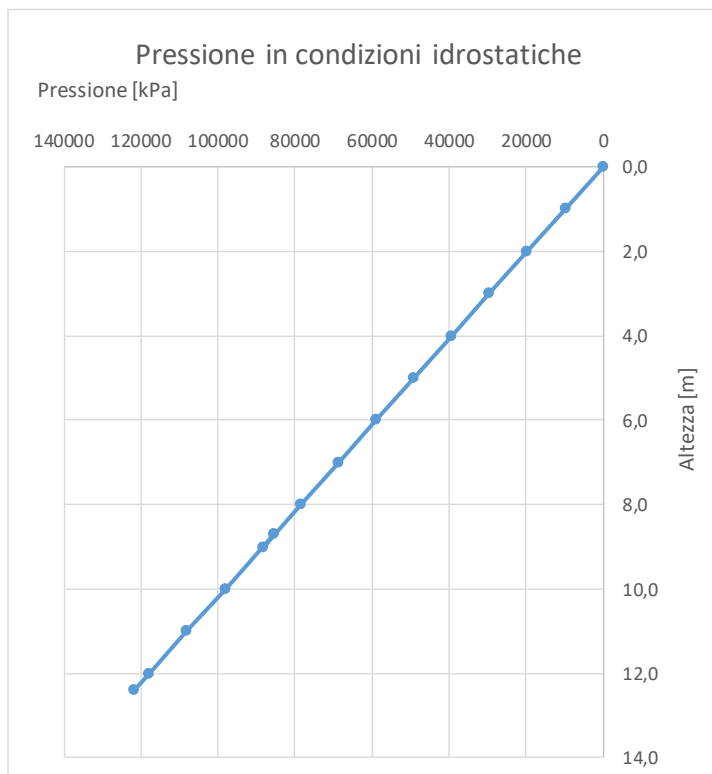
6.2 AZIONI A SLU – MASSIMA REGOLAZIONE

Caratteristiche geometriche

y H	=	144,9 m slm	Quota pelo libero dell'invaso
y 1	=	132,5 m slm	Quota di fondo della paratoia
y 2	=	136,2 m slm	Quota di sommità della paratoia
A	=	3,7 m	Altezza della paratoia
B	=	6,155 m	Larghezza della paratoia
C	=	3,5 m	Luce della paratoia
S	=	22,77 mq	Superficie dello scudo
QG	=	134,35 m slm	Quota del baricentro della paratoia
yG	=	10,55 m	Quota del baricentro della paratoia dalla quota di invasore
H1	=	8,7 m	Tirante al bordo superiore della paratoia
H	=	12,4 m	Tirante massimo

Calcolo spinta idrostatica

p sup	=	85347 kPa	Pressione minima sulla paratoia (bordo superiore)
p inf	=	121644 kPa	Pressione massima sulla paratoia (bordo inferiore)
p media	=	103495,5 kPa	Pressione media sulla paratoia (baricentro)
Fidro	=	2357 kN	
γ_{G1}	=	1,3	Coefficiente di combinazione
Fidro	=	3064 kN	Forza idrostatica sulla paratoia (baricentro)
Igg	=	25,98 m ⁴	Momento d'inerzia dello scudo
yF	=	134,24 m slm	Quota del centro di spinta
yF	=	10,66 m	Affondamento del centro di spinta



6.3 AZIONI A SLV

Caratteristiche geometriche

y H	=	144,9 m slm	Quota pelo libero dell'invaso
y 1	=	132,5 m slm	Quota di fondo della paratoia
y 2	=	136,2 m slm	Quota di sommità della paratoia
A	=	3,7 m	Altezza della paratoia
B	=	6,155 m	Larghezza della paratoia
C	=	3,5 m	Luce della paratoia
S	=	22,77 mq	Superficie dello scudo
QG	=	134,35 m slm	Quota del baricentro della paratoia
yG	=	10,55 m	Quota del baricentro della paratoia dalla quota di invaso
H1	=	8,7 m	Tirante al bordo superiore della paratoia
H	=	12,4 m	Tirante massimo

Calcolo spinta idrostatica

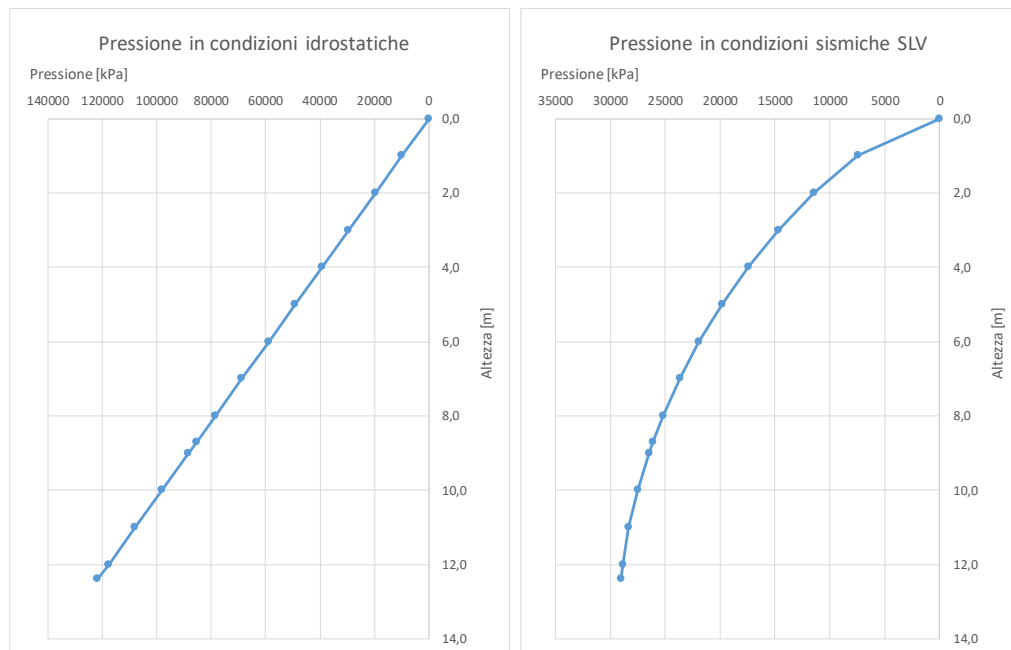
p sup	=	85347 kPa	Pressione minima sulla paratoia (bordo superiore)
p inf	=	121644 kPa	Pressione massima sulla paratoia (bordo inferiore)
p media	=	103495,5 kPa	Pressione media sulla paratoia (baricentro)
Fidro	=	2357 kN	Forza idrostatica sulla paratoia (baricentro)
Igg	=	25,98 m ⁴	Momento d'inerzia dello scudo
yF	=	134,24 m slm	Quota del centro di spinta
yF	=	10,66 m	Affondamento del centro di spinta

Spinta inerziale della paratoia

P	=	137 kN	Peso della paratoia
Sp	=	39,5 kN	Forza inerziale della paratoia

Calcolo spinta inerziale dell'acqua in condizioni sismiche

y b	=	130,9 m slm	Quota del punto più depresso dell'alveo naturale al piede del paramento
cm	=	0,7412	
alfa	=	0 °	
y0	=	14,0 m	= 2,83 m/s ²
ro	=	1000 kg/mc	
a	=	0,288 ag	
p sup	=	26126 kPa	Pressione minima sulla paratoia (bordo superiore)
p inf	=	29030 kPa	Pressione massima sulla paratoia (bordo inferiore)
p media	=	27578 kPa	Pressione media sulla paratoia (baricentro)
Sidro	=	628 kN	Forza inerziale dell'acqua
yF	=	134,32 m slm	Quota del centro di spinta
yF	=	10,58 m	Affondamento del centro di spinta
STOT	=	3024,5 kN	Spinta complessiva sulla paratoia



6.4 AZIONI A SLD

Caratteristiche geometriche

y H	=	144,9 m slm	Quota pelo libero dell'invaso
y 1	=	132,5 m slm	Quota di fondo della paratoia
y 2	=	136,2 m slm	Quota di sommità della paratoia
A	=	3,7 m	Altezza della paratoia
B	=	6,155 m	Larghezza della paratoia
C	=	3,5 m	Luce della paratoia
S	=	22,77 mq	Superficie dello scudo
QG	=	134,35 m slm	Quota del baricentro della paratoia
yG	=	10,55 m	Quota del baricentro della paratoia dalla quota di invaso
H1	=	8,7 m	Tirante al bordo superiore della paratoia
H	=	12,4 m	Tirante massimo

Calcolo spinta idrostatica

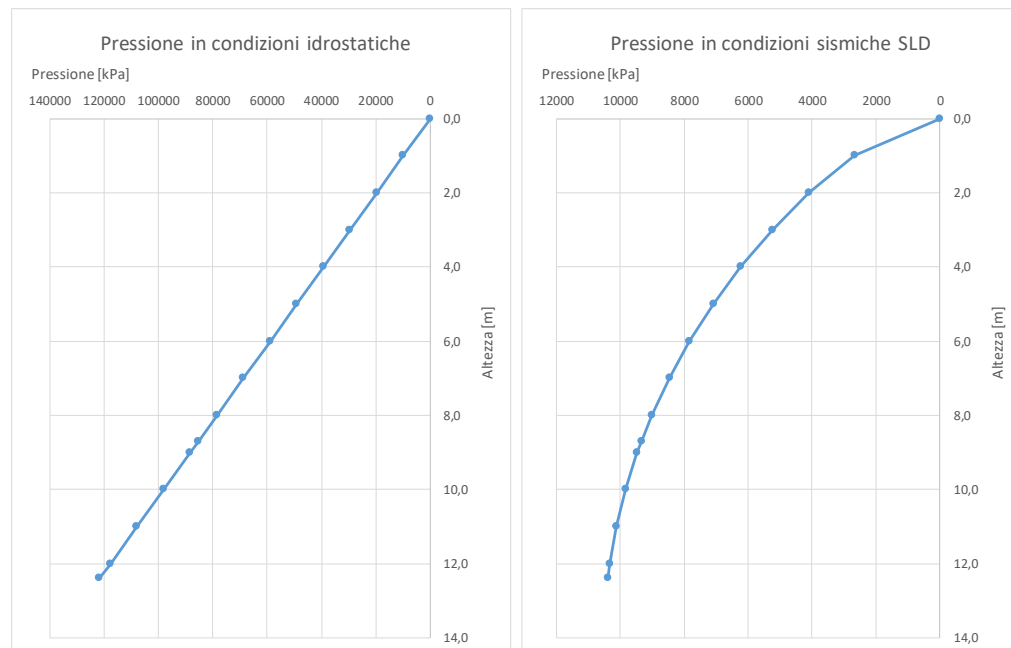
p sup	=	85347 kPa	Pressione minima sulla paratoia (bordo superiore)
p inf	=	121644 kPa	Pressione massima sulla paratoia (bordo inferiore)
p media	=	103495,5 kPa	Pressione media sulla paratoia (baricentro)
Fidro	=	2357 kN	Forza idrostatica sulla paratoia (baricentro)
Igg	=	25,98 m ⁴	Momento d'inerzia dello scudo
yF	=	134,24 m slm	Quota del centro di spinta
yF	=	10,66 m	Affondamento del centro di spinta

Spinta inerziale della paratoia

P	=	137 kN	Peso della paratoia
Sp	=	14,1 kN	Forza inerziale della paratoia

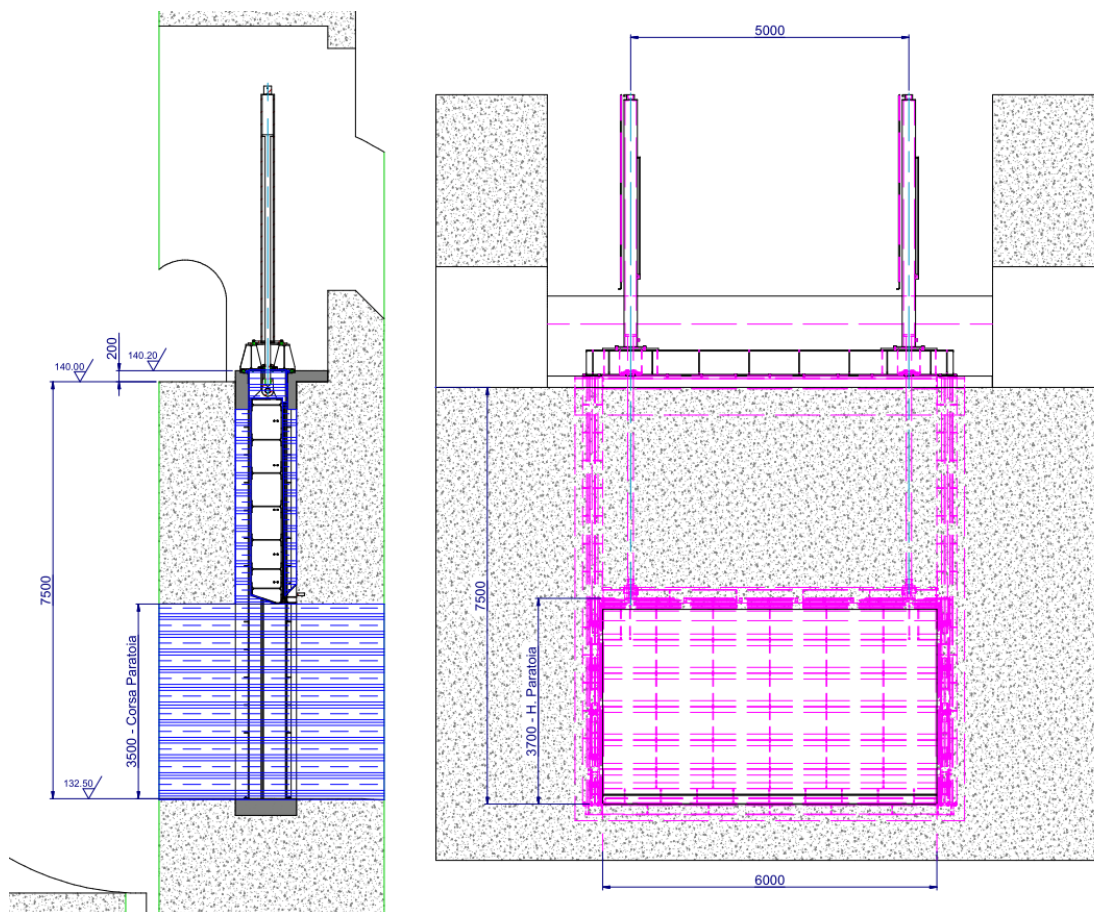
Calcolo spinta inerziale dell'acqua in condizioni sismiche

y b	=	130,9 m slm	Quota del punto più depresso dell'alveo naturale al piede del paramento
cm	=	0,7412	
alfa	=	0 °	
y0	=	14,0 m	
ro	=	1000 kg/mc	
a	=	0,103 ag	= 1,01 m/s ²
p sup	=	9344 kPa	Pressione minima sulla paratoia (bordo superiore)
p inf	=	10382 kPa	Pressione massima sulla paratoia (bordo inferiore)
p media	=	9863 kPa	Pressione media sulla paratoia (baricentro)
Sidro	=	225 kN	Forza inerziale dell'acqua
yF	=	134,32 m slm	Quota del centro di spinta
yF	=	10,58 m	Affondamento del centro di spinta
STOT	=	2595,7 kN	Spinta complessiva sulla paratoia



7. Verifica della struttura principale

Costruttivamente la paratoia è composta da un unico manufatto realizzato in acciaio elettrosaldato. Il carico idraulico è trasmesso dal mantello e dalle nervature verticali alle travi orizzontali, le quali scaricano poi la spinta sulle fiancate laterali e quindi su 10 ruote. La quota delle travi orizzontali è scelta in modo tale che le stesse risultino sostanzialmente equicaricate, suddividendo in pratica la paratoia in 7 fasce orizzontali.



7.1 VERIFICA DELLE TRAVI ORIZZONTALI

Si utilizza un calcolo semplificato bidimensionale, a trave appoggiata; lo schema di calcolo è illustrato in Figura 1.

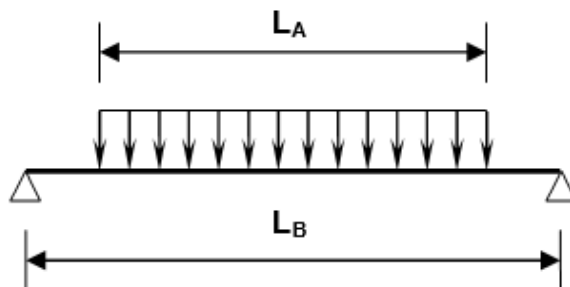
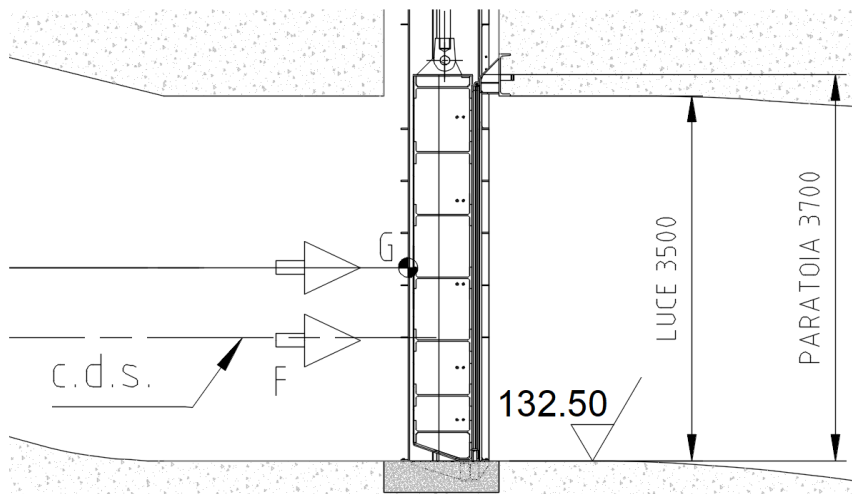


Figura 1 – Schema di calcolo

- $LA = 6155 \text{ mm}$
 - $LB = 6285 \text{ mm}$
- Altezza paratoia $h = 3700 \text{ mm}$
 - Numero di zone $N = 7$



La larghezza della parte di mantello collaborante con la sezione resistente della trave può essere calcolata in funzione dei seguenti parametri:

- Lunghezza tra gli appoggi $L_I = LB = 6285 \text{ mm}$
- Distanza tra due travi successive $2B = 600 \text{ mm}$
- Rapporto di lunghezza $L_I/B = 20.25$
- Fattore di riduzione $\nu_I = 0.97$
- Larghezza della lamiera collaborante $LCI = \nu_I \cdot 2B = 582 \text{ mm}$

La sezione resistente della trave è rappresentata in Figura 2.

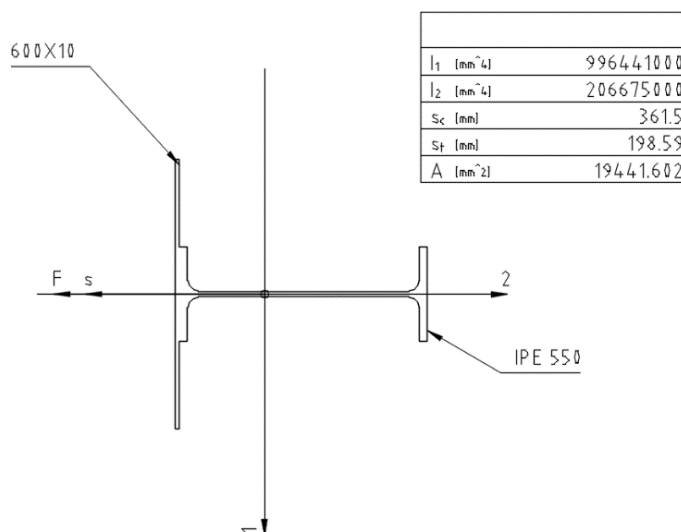


Figura 2 – Schema resistente della trave

- Area $A = 19441 \text{ mm}^2$
- Posizione baricentro $Y_G = 198.59 \text{ mm}^2$
- Momento d'inerzia $J = 9.96 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
- Moduli di resistenza $W_A = 5.017 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
 $W_C = 2.757 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
- Momento statico $S = 1.93 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$

Le sollecitazioni agenti sulla struttura sono le seguenti:

Sollecitazione	Espressione	SLU max invaso	SLU max regolazione	SLV	SLD
Carico sulla paratoia	S_{TOT}	2536 kN	3064 kN	3024 kN	2596 kN
Carico sulla singola trave	$P = S_{TOT} / N$	362 kN	438 kN	432 kN	371 kN
Massimo momento flettente	$M = P \cdot (2 \cdot L_B - L_A) / 8$	$2.90 \cdot 10^8 \text{ N*mm}$	$3.51 \cdot 10^8 \text{ N*mm}$	$3.46 \cdot 10^8 \text{ N*mm}$	$2.97 \cdot 10^8 \text{ N*mm}$
Massima azione di taglio	$T = P / 2$	181 kN	219 kN	216 kN	185 kN

Le massime tensioni sulla trave sono:

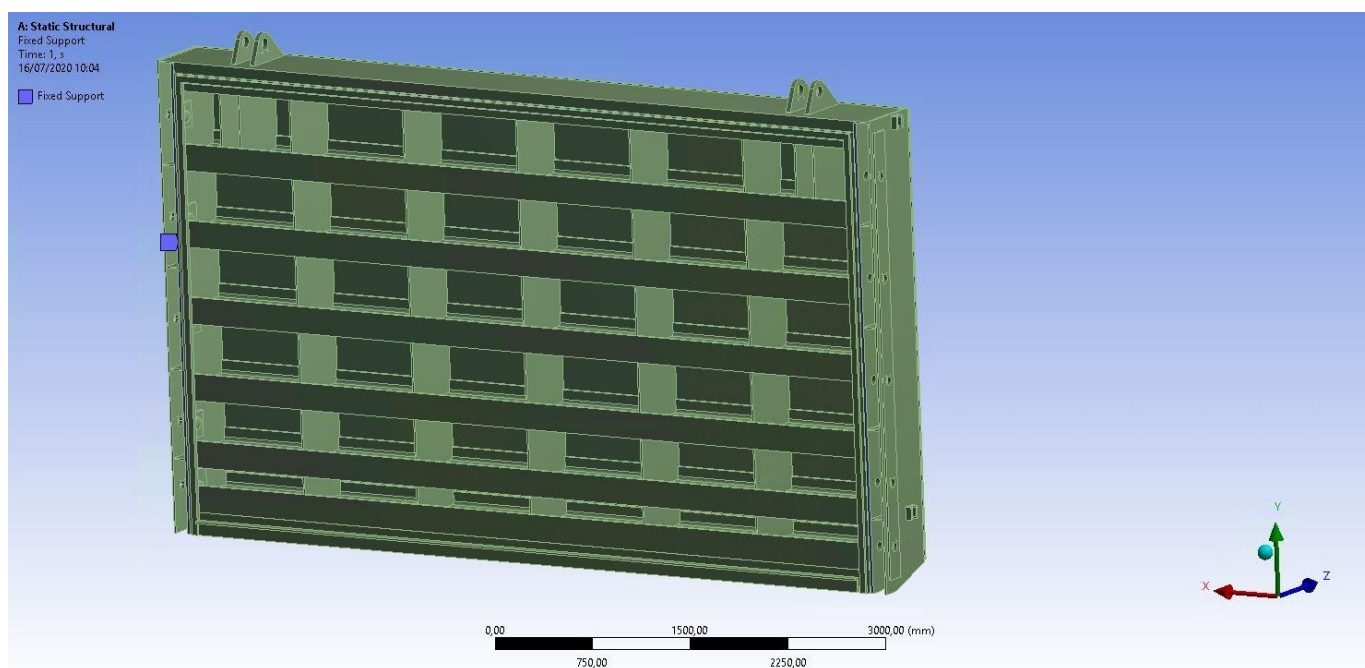
Sollecitazione	Espressione	SLU max invaso	SLU max regolazione	SLV	SLD
Tensione pannello sup	$\sigma_A = -M / W_A$	-57.9 N/mm ²	-70.0 N/mm ²	-69.1 N/mm ²	-59.3 N/mm ²
Tensione ala libera	$\sigma_C = M / W_C$	105.4 N/mm ²	127.3 N/mm ²	125.7 N/mm ²	107.9 N/mm ²
Massima tensione di taglio	$\tau = (T \cdot S) / (sp \cdot J)$	31.9 N/mm ²	38.6 N/mm ²	38.1 N/mm ²	32.7 N/mm ²
Freccia in mezzera	$f = \frac{P}{384 \cdot E \cdot J} \cdot (8 \cdot L_B^3 - 4 \cdot L_A^2 \cdot L_B^2 + L_A^3)$	6.0 mm	7.2 mm	7.1 mm	6.0 mm

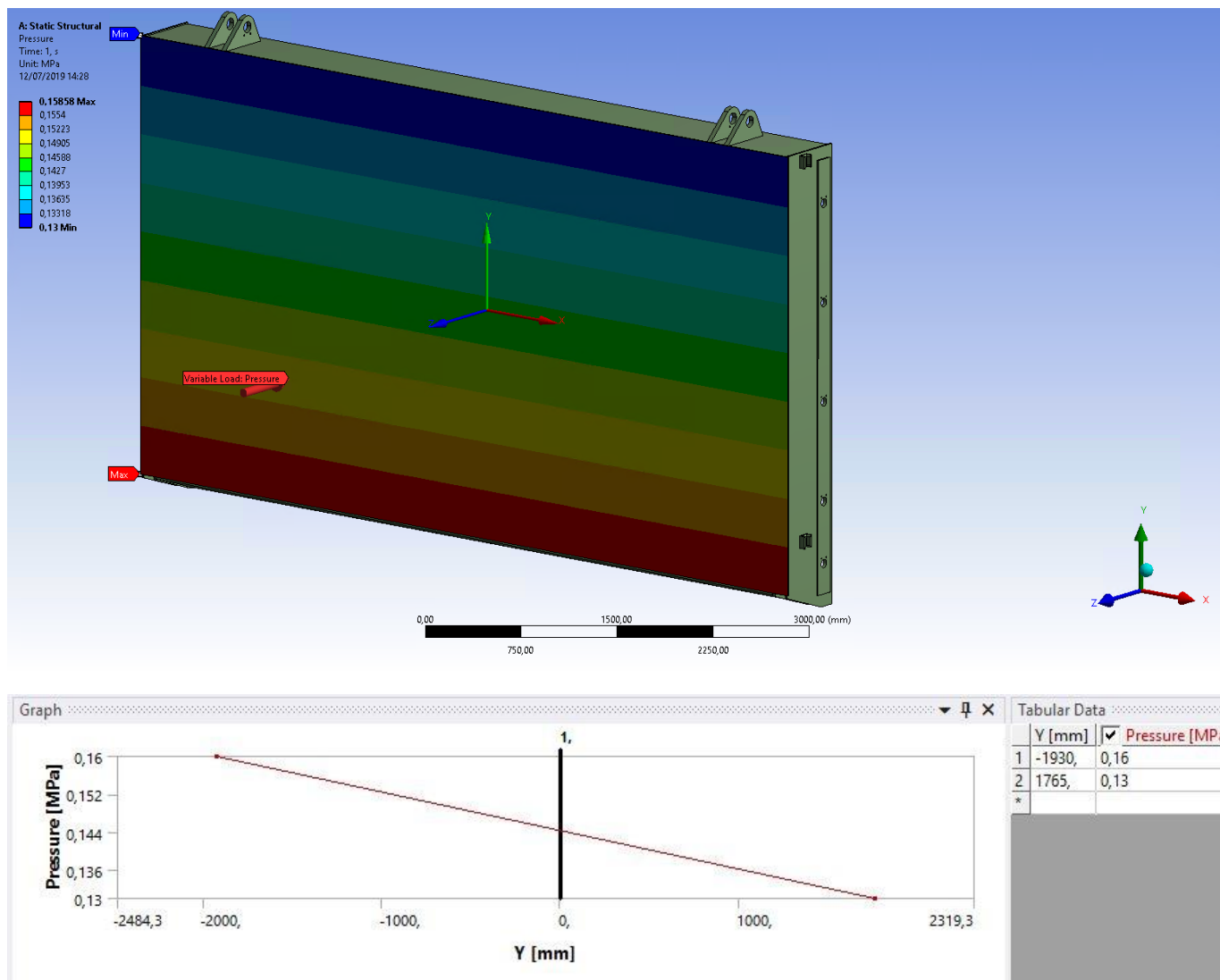
Le verifiche sono soddisfatte; poiché la struttura rimane ampiamente in campo elastico anche con le sollecitazioni allo SLU, non si procede alla verifica tensionale allo SLE.

La freccia massima, pari a 7.2 mm, è inferiore ad 1/800 della luce; tale valore è sufficiente ad evitare lo strisciamento, in quanto la distanza tra l'elemento strutturale della paratoia e l'elemento fisso del gargame è pari a 15 mm; resta sottinteso che in fase di montaggio dovrà essere garantita tale distanza e dovranno essere inseriti elementi di guarnizione di adeguate dimensioni.

Nel modello di calcolo tridimensionale le deformazioni risultano inferiori a quelle ricavate dal modello bidimensionale, grazie alla rigidità della paratoia e alla distribuzione delle sollecitazioni su tutti gli elementi. Il valore di deformazione calcolato viene ritenuto accettabile ai fini del buon funzionamento della paratoia; i criteri di giudizio si basano su risultati sperimentali effettuati su manufatti simili ove si è rilevato che la deformazione massima reale in tutti i casi non ha mai superato il valore di 1/1000 della lunghezza della luce interessata.

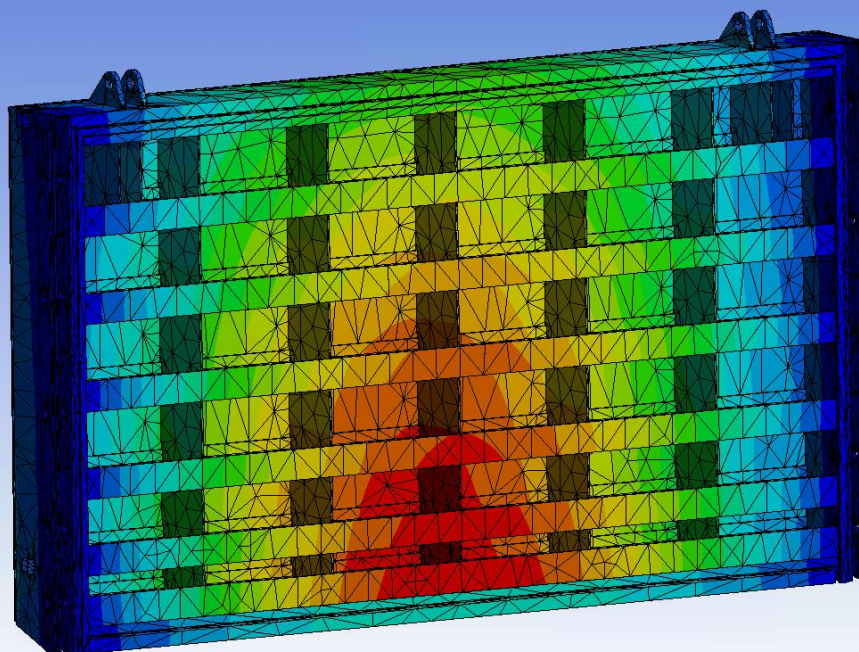
Si riportano nel seguito alcune immagini esemplificative, con l'indicazione del vincolo (fixed support) e di uno schema di carico. I vincoli sono stati applicati alla superficie delle lamiere laterali come da prassi consolidata derivata dall'esperienza che ci assicura un risultato accettabile e realistico basato su verifiche effettuate su modelli reali.





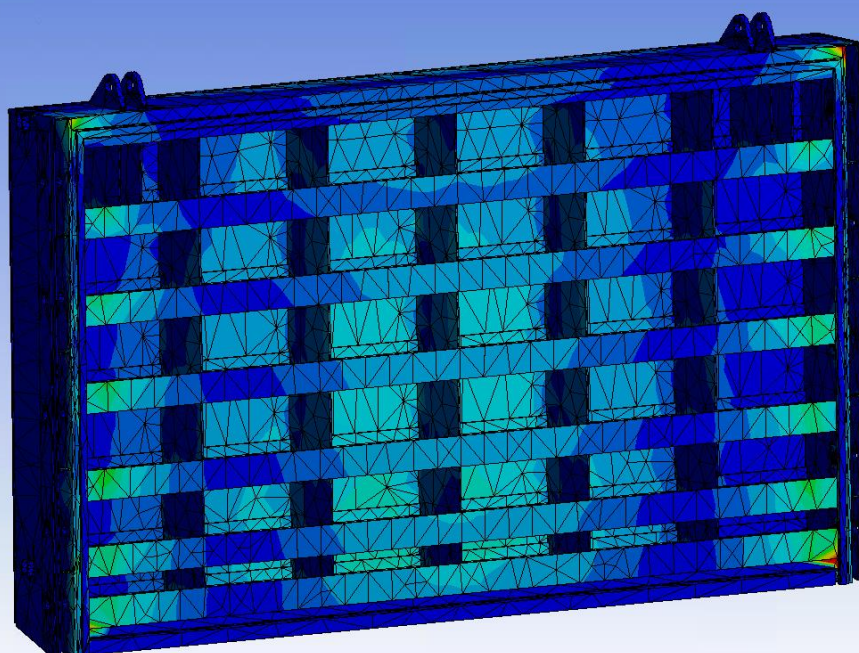
A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
12/07/2019 14:31

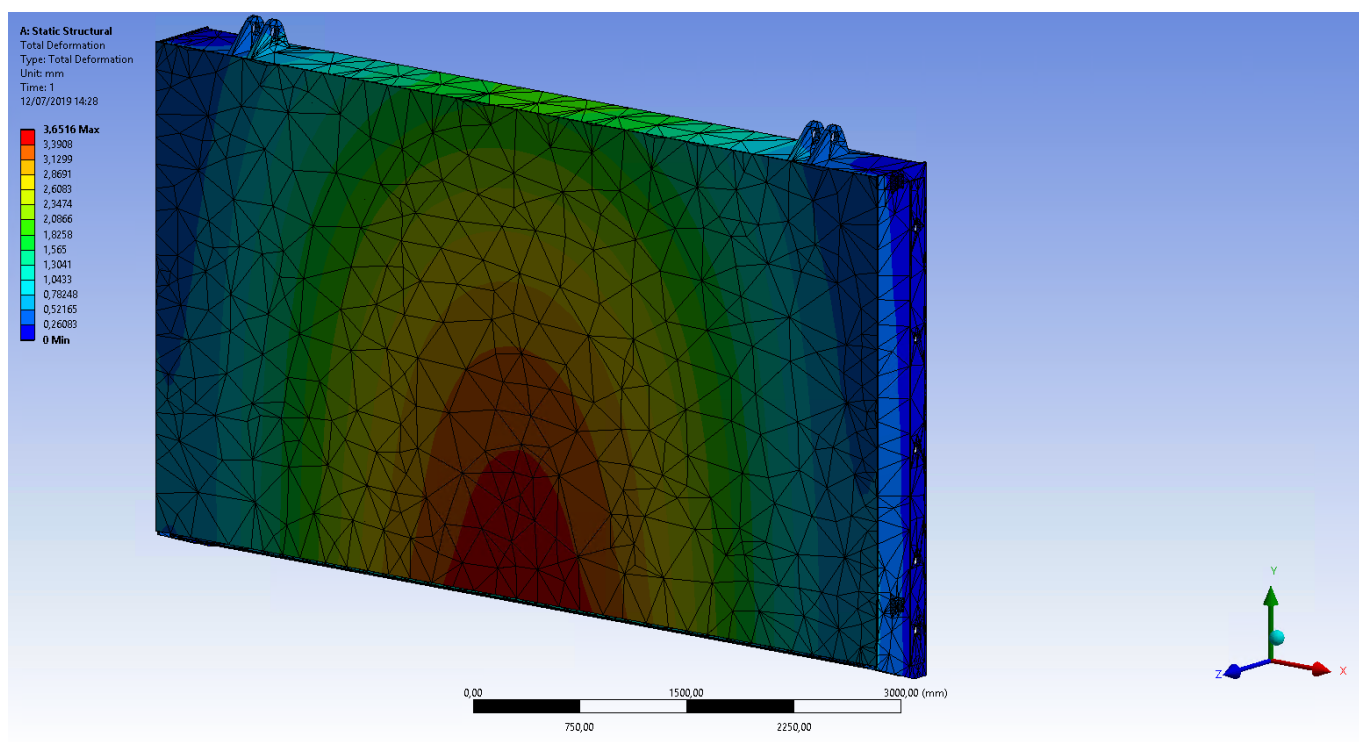
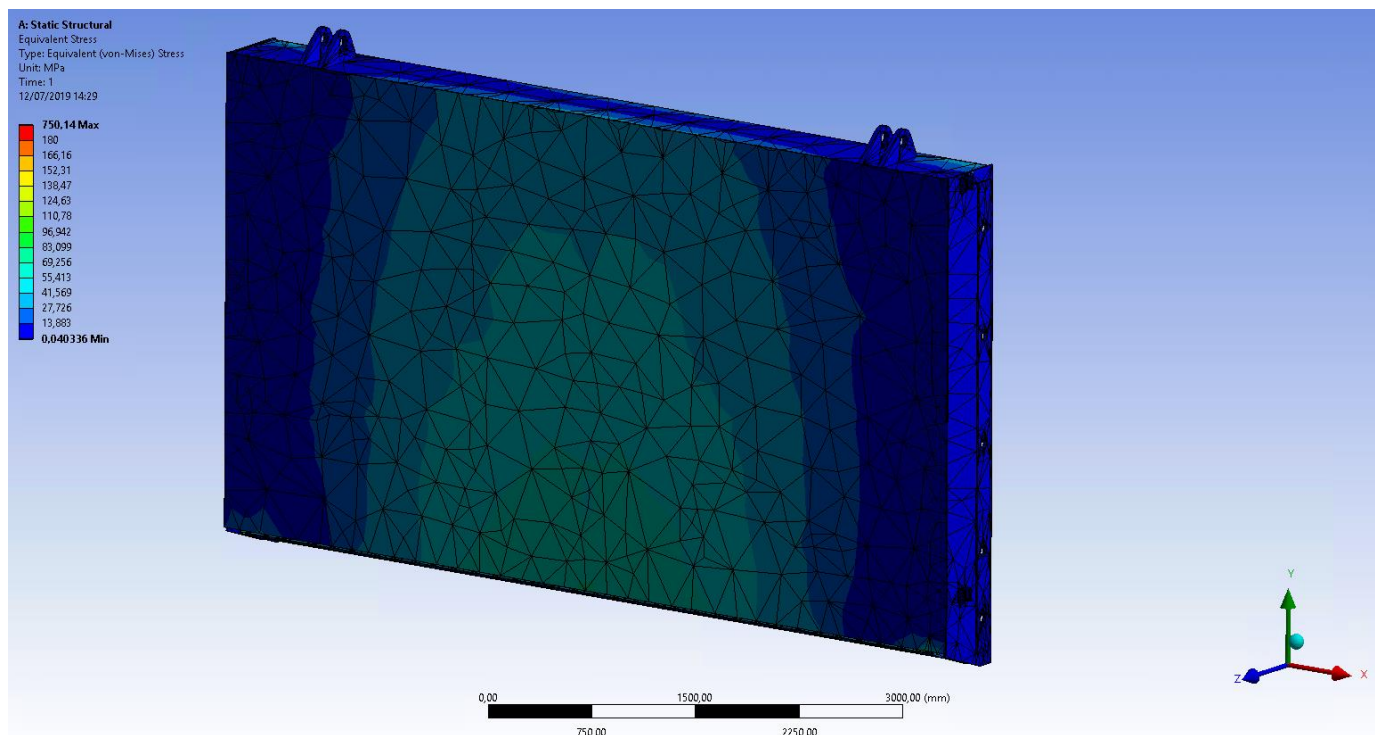
3,6516 Max
3,3903
3,1299
2,9691
2,6083
2,3474
2,0866
1,8258
1,565
1,3041
1,0433
0,78248
0,52165
0,26083
0 Min



A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
12/07/2019 14:29

750.14 Max
180
166.16
152.31
138.47
124.63
110.78
96.942
83.099
69.256
55.413
41.569
27.726
13.883
0.040336 Min





8. Forze di manovra

La paratoia è soggetta alle azioni idrauliche calcolate precedentemente:

- Spinta idraulica massima: $Q = \underline{3064} \text{ kN}$

8.1 ATTRITO DEI PERNI DI ROTAZIONE

- Coefficiente di attrito massimo delle boccole $\mu_B = 0.2$
- Diametro delle ruote $D = 345 \text{ mm}$
- Diametro dei perni $D_P = 70 \text{ mm}$
- Forza di attrito dei perni: $FP = Q \cdot (D_P / D) \cdot \mu_B = \underline{130} \text{ kN}$

8.2 ATTRITO VOLVENTE

- Eccentricità della risultante del carico sulle ruote $e = 0.5 \text{ mm}$

Con lo stesso significato dei simboli di cui sopra:

$$FR = Q \cdot e / (D / 2) = \underline{9} \text{ kN}$$

8.3 ATTRITO DELLE GUARNIZIONI DI TENUTA

- Interasse tenute laterali $LA = 6100 \text{ mm}$
- Altezza delle tenute $h = 3500 \text{ mm}$
- Forza di precarica delle guarnizioni $fp = 1 \text{ N/mm}$
- Larghezza equivalente di carico delle guarnizioni $Le = 67.2 \text{ mm}$
- Coefficiente d'attrito massimo delle tenute $\mu_T = 0.3$
- Forza d'attrito dovuta alle guarnizioni: $FT = (Le \cdot p + fp) \cdot h \cdot 2 \cdot \mu_T = \underline{21} \text{ kN}$

8.4 SPINTA IDRAULICA VERTICALE

La pressione idraulica e la larghezza della zona caricata sono rappresentate in Figura 3.

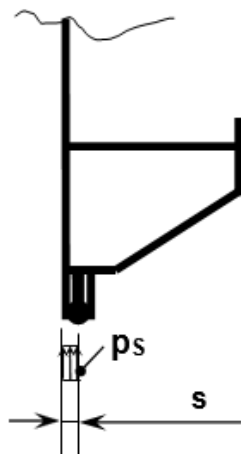


Figura 3 – Spinte idrauliche verticali

- Interasse tenute laterali $LA = 6100 \text{ mm}$
- Coefficiente di massimo downpull $\varphi_d = 0.5$

Per tenere conto della situazione più cautelativa, si considera il downpull nel calcolo della massima forza in apertura; al contrario, nella verifica di chiusura per peso proprio, il downpull viene considerato nullo (condizione effettiva in prossimità della chiusura completa).

- Forza idraulica verticale verso l'alto in apertura:

$$FIA = pS \cdot s \cdot \varphi_d \cdot LA = \mathbf{10.3 \text{ kN}}$$

- Forza idraulica verticale verso l'alto in prossimità della chiusura:

$$FIC = pS \cdot s \cdot LA = \mathbf{20.5 \text{ kN}}$$

8.5 PESO DELLA PARATOIA

Il peso totale della struttura metallica della paratoia, inclusi gruppi ruota, sistema di tenuta e parti mobili del cilindro oleodinamico, è pari a:

$$PP = 12000 \text{ kg} = 117.7 \text{ kN}$$

Viene aggiunta una quantità di zavorra pari a:

$$PC = 2000 \text{ kg} = 19.6 \text{ kN}$$

Il peso complessivo della paratoia sarà quindi:

$$PT = PP + PC = \mathbf{137 \text{ kN}}$$

8.6 FORZA MASSIMA IN APERTURA

Per determinare il valore della forza in apertura, si considerano tutti gli attriti e il massimo downpull:

$$FA = PT - FIA + FP + FR + FT = \mathbf{288 \text{ kN}}$$

8.7 PRESSIONE MASSIMA OLIO IN APERTURA

La pressione necessaria dell'olio da iniettare nei pistoni per aprire la paratoia sarà pertanto pari a =

$$POIL-AP = \mathbf{83.5 \text{ bar}}$$

8.8 FORZA MASSIMA IN CHIUSURA

Calcoliamo la forza massima necessaria in chiusura

$$FC = FIC - PT + FP + FR + FT = \mathbf{44 \text{ kN}}$$

Tenendo conto del coefficiente di sicurezza sulle forze di attrito pari a 1.25

$$FC = FIC - PT + 1.25 \cdot (FP + FR + FT) = \mathbf{84 \text{ kN}}$$

8.9 PRESSIONE MASSIMA OLIO IN CHIUSURA

La pressione necessaria dell'olio da iniettare nei pistoni per chiudere la paratoia sarà pertanto pari a =

$$P_{OIL-CH-max} = 17 \text{ bar}$$

9. Meccanismo di manovra

Dimensioni del cilindro oleodinamico:

- Alesaggio ø 180 mm
- Stelo ø 100 mm
- Pressione nominale: 160 bar
- Pressione massima 250 bar
- Area di spinta in apertura 175.9 cm²
- Pressione necessaria in apertura 83.5 bar
- Area di spinta in chiusura 254.4 cm²
- Pressione necessaria in chiusura 17 bar

Analisi corsa totale APRI

- Corsa 3500 mm
- Volume olio apertura cilindro 61.5 litri
- Volume olio apertura 123 litri
- N° cilindri 2

Analisi corsa parziale APRI

- Corsa 1600 mm
- Volume olio apertura cilindro 28.14 litri
- Volume olio apertura 56.28 litri
- N° cilindri 2

Analisi corsa totale CHIUDI

- Corsa 3500 mm
- Volume olio chiusura cilindro 89.06 litri
- Volume olio chiusura 178.12 litri
- N° cilindri 2

Analisi corsa parziale CHIUDI

- Corsa 1900 mm (corsa per portarsi all'apertura residua di 1,6 m)
- Volume olio chiusura cilindro 48.34 litri
- Volume olio chiusura 96.69 litri
- N° cilindri 2

9.1 VERIFICA DELLA POSSIBILITÀ DI CHIUSURA SOTTO FLUSSO

Viene inoltre verificata la possibilità di chiusura sotto flusso nel caso di assenza di pressione nella centralina oleodinamica di comando (azione di chiusura con la semplice gravità).

Come previsto dalla norma DIN 19704, si considera un coefficiente di sicurezza sulle forze di attrito pari a 1.25.

Forza residua durante la chiusura:

$$FC = PT - FIC - 1.25 \cdot (FP + FR + FT) = \mathbf{-84 \text{ kN}}$$

Come illustrato precedentemente nel dimensionamento dei cilindri idraulici, la forza di chiusura necessaria è pari a:

$$FC = FIC - PT + FP + FR + FT = \mathbf{44 \text{ kN}}$$

La pressione corrispondente dell'olio da iniettare è pertanto pari a: $P_{OIL-CH} = \mathbf{9 \text{ bar}}$.

Considerando però la maggiorazione sulle forze di attrito

$$FC = FIC - PT + 1.25 \cdot (FP + FR + FT) = \mathbf{84 \text{ kN}}$$

La pressione corrispondente dell'olio da iniettare è pertanto pari a: $P_{OIL-CH-max} = \mathbf{17 \text{ bar}}$.

Nelle condizioni di piena con azione sismica la paratoia non è in grado di provvedere per la sola azione della gravità alla chiusura. Considerata l'improbabilità della necessità di una chiusura completa a semplice gravità nelle condizioni dell'evento di massima piena + azione sismica, si ritiene non necessario aumentare il grado di zavorra in quanto si penalizzerebbero eccessivamente le forze e pressioni necessarie in apertura.

Viene pertanto analizzata la condizione di chiusura a gravità nella condizione di sfioro e quindi alla quota di invaso pari a 144.9 m s.l.m, senza considerare il coefficiente di combinazione allo s.l.u. (condizione di esercizio).

In queste condizioni diminuiscono tutte le componenti resistenti che agiscono sul contrasto della forza in chiusura attuata dal peso gravitativo del manufatto. Il nuovo valore risulterà pertanto pari a:

$$FC_1 = PT - FIC_1 - (FP_1 + FR_1 + FT_1) = \mathbf{2.7 \text{ kN}}$$

Il risultato verifica la possibilità di chiusura a semplice gravità della paratoia.

9.2 ANALISI “CARICO DI PUNTA” STELO CILINDRO OLEODINAMICO

Sull'ipotesi di una chiusura a “doppio effetto” del cilindro è stata analizzata la condizione di “carico di punta” sullo stelo in base alle seguenti ipotesi progettuali:

- Diametro Stelo = 100 mm
- Lunghezza libera massima = 3500 mm
- Pressione massima cilindro idraulico “chiudi” = 17 bar
- Forza equivalente su singolo stelo = 2150 kg
- Condizione = estremi incernierati

ANALISI CARICO DI PUNTA STELO CILINDRO

diametro barra	d	100	
sezione resistente nominale	As	7853	mm ²
diametro equivalente	a	100,0	mm
momento inerzia	J	9824982,3	mm ⁴
modulo elasticità	E	210000	N/mm ²
lunghezza libera	L	3500	mm
rapporto l/a (in funzione del materiale)	m	20	[-]

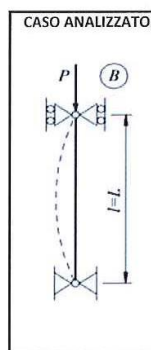
materiale	m
legno	12
acciaio	20
ghisa	10
cls	15

analisi lunghezza libera di inflessione					verifica applicazione carico di punta		
caso	descrizione	l			l/a	l/a > m	l/a > 10
A	piele incastrato - sommità libera	l=2*L	7000	mm	69,98663	carico di punta	carico di punta
B	estremi incernierati	l=L	3500	mm	34,99331	carico di punta	carico di punta
C	piele incastrato - sommità incernierata	l=0,7*L	2450	mm	24,49532	carico di punta	carico di punta
D	estremi incastrati	l=L/2	1750	mm	17,49666	No	carico di punta

Si verifica il carico di punta quando $\frac{l}{a} > m$ essendo

a=minore dimensione della sezione
 m=12 (legno)
 m=20 (acciaio)
 m=10 (ghisa)
 m=15 (cemento armato)

In generale le formule per il carico di punta vanno applicate quando $l > 10a$.



analisi carico critico				
caso	descrizione	P		P
A	piele incastrato - sommità libera	415580,093	N	42362,9
B	estremi incernierati	1662320,372	N	169451,6
C	piele incastrato - sommità incernierata	3324640,744	N	338903,2
D	estremi incastrati	6649281,487	N	677806,5

fattore sicurezza sollecitazione statica		
acciai	ns	5
ghisa	ns	8

analisi carico applicato in sicurezza (sollecitazione statica)									
caso	descrizione	F (acciai)			F (ghisa)				
A	piele incastrato - sommità libera	83116,01859	N	8472,581	kg	51947,51	N	5295,363	kg
B	estremi incernierati	332464,0744	N	33890,32	kg	207790	N	21181,45	kg
C	piele incastrato - sommità incernierata	664928,1487	N	67780,65	kg	415580,1	N	42362,9	kg
D	estremi incastrati	1329856,297	N	135561,3	kg	831160,2	N	84725,81	kg

fattore sicurezza sollecitazione dinamica		
acciai	ns	20
ghisa	ns	32

analisi carico applicato in sicurezza (sollecitazione dinamica)									
caso	descrizione	F (acciai)			F (ghisa)				
A	piele incastrato - sommità libera	20779,00465	N	2118,145	kg	12986,88	N	1323,841	kg
B	estremi incernierati	83116,01859	N	8472,581	kg	51947,51	N	5295,363	kg
C	piele incastrato - sommità incernierata	166232,0372	N	16945,16	kg	103895	N	10590,73	kg
D	estremi incastrati	332464,0744	N	33890,32	kg	207790	N	21181,45	kg

VERIFICA CARICO					
CARICO APPLICATO	4300	kg	CARICO IN CHIUSURA CORRISPONDENTE A 17 bar		
NUMERO BARRE	2				

CARICO PER BARRA			carico statico			carico dinamico		
	2150,00	kg	caso	acciaio	ghisa	caso	acciaio	ghisa
			A	OK	OK	A	NO	NO
			B	OK	OK	B	OK	OK
			C	OK	OK	C	OK	OK
			D	OK	OK	D	OK	OK

10. Gruppo “ruote di scorrimento”

10.1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

La paratoia sarà corredata di apposite ruote di scorrimento realizzate in acciaio INOX le quali sono a contatto con la parte fissa del gargame interessando apposito profilo riportato sulla struttura principale anch'esso in acciaio INOX.

Questa tipologia costruttiva permette una maggior durata dei componenti in questione oltre ad un'efficienza duratura nel tempo.

10.2 CARICHI SULLE RUOTE

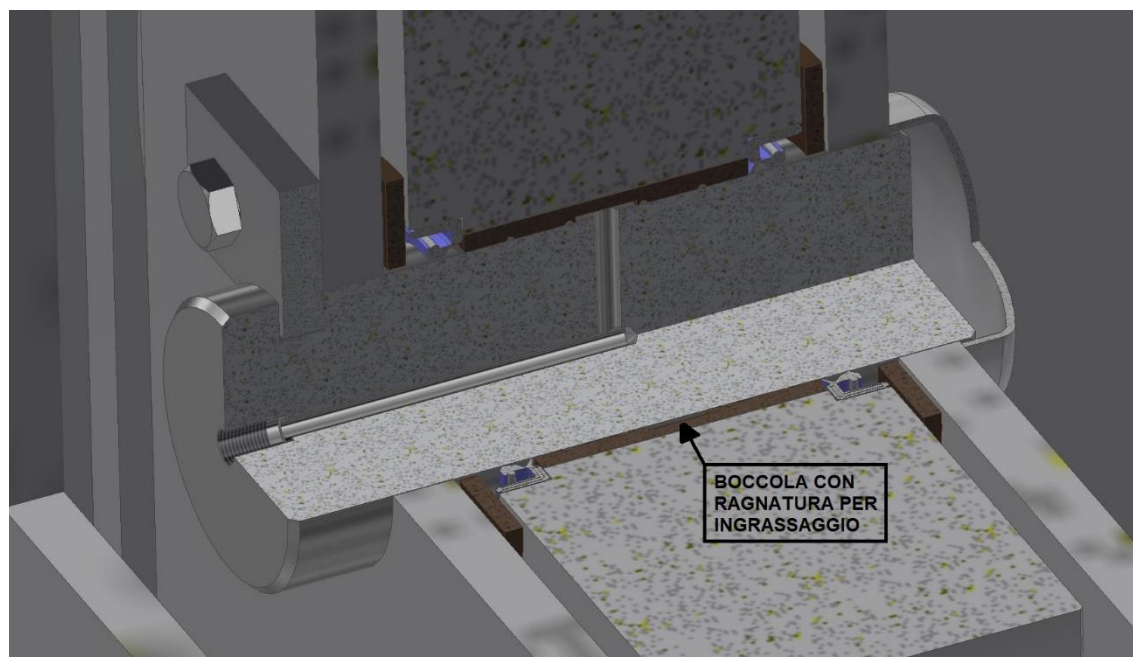
La distribuzione verticale delle ruote (spaziatura) è calcolata in funzione del carico di natura “triangolare” agente sullo scudo della paratia. In tal caso si può garantire la corretta distribuzione degli sforzi su ogni gruppo ruota.

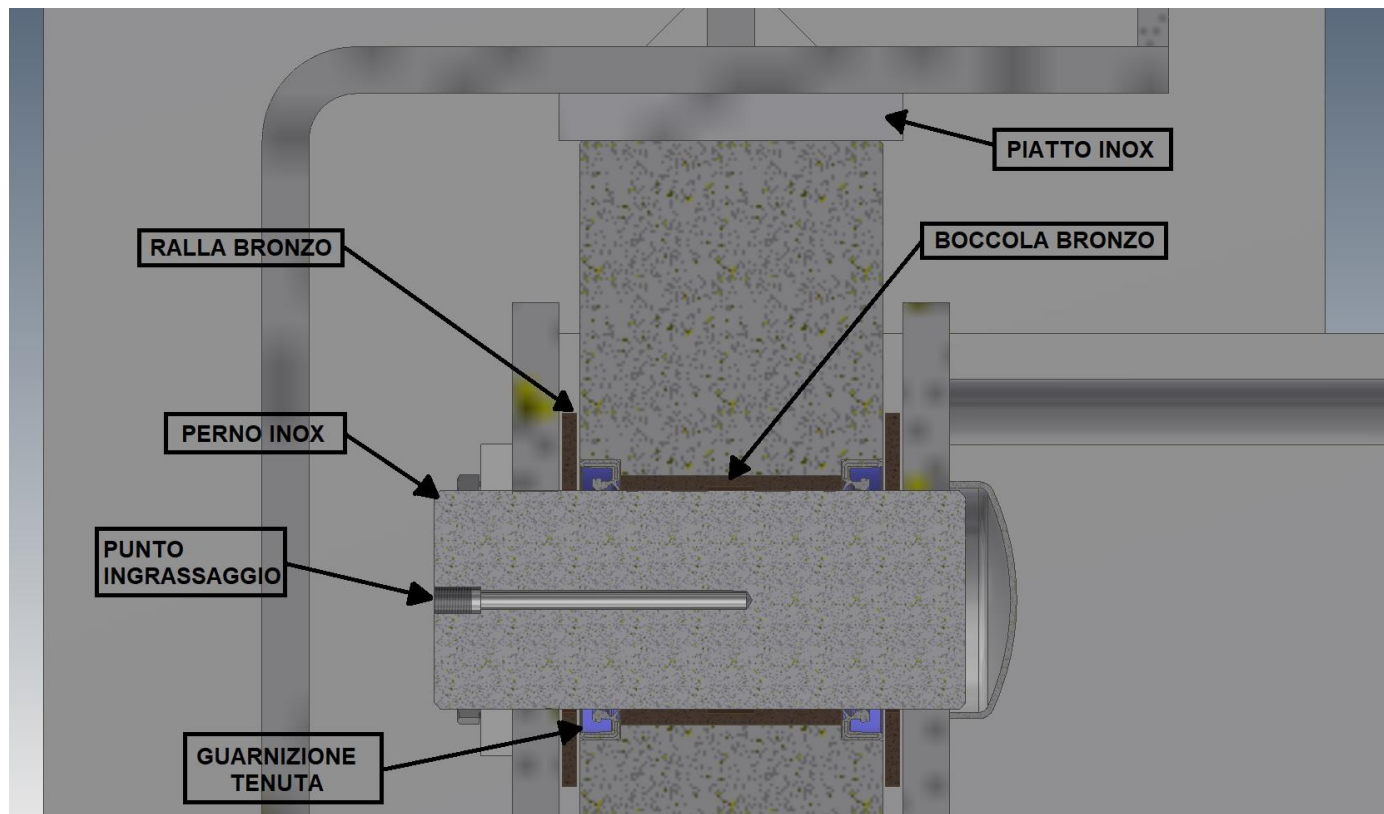
Nella realizzazione dell'assieme paratoia si prevede di effettuare accurate lavorazioni nella sede degli alberi delle ruote di riscontro al fine di minimizzare fenomeni di disallineamento delle stesse rispetto alla superficie di appoggio.

Per esperienza si considera che il “disallineamento residuo” è ampiamente compensato dall'elasticità dello scudo sottoposto al carico di esercizio.

In fase di montaggio qualora emergessero disallineamenti non accettabili a causa di fattori derivanti dalla posa dei gargami nel conglomerato cementizio (fenomeni di ritiro), sarà opportuno personalizzare ogni gruppo ruota al fine di compensare l'effettivo disassamento.

Si esclude l'applicazione di perni eccentrici in quanto per esperienza non garantiscono la durabilità del posizionamento di aggiustaggio.





11. Centralina di comando

11.1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELLA CENTRALINA

Ogni paratoia sarà corredata di apposita centralina oleodinamica di comando che sarà appositamente realizzata per permettere l'attuazione dell'apertura della paratoia mediante iniezione di olio all'interno delle camere lato stelo dei cilindri oleodinamici.

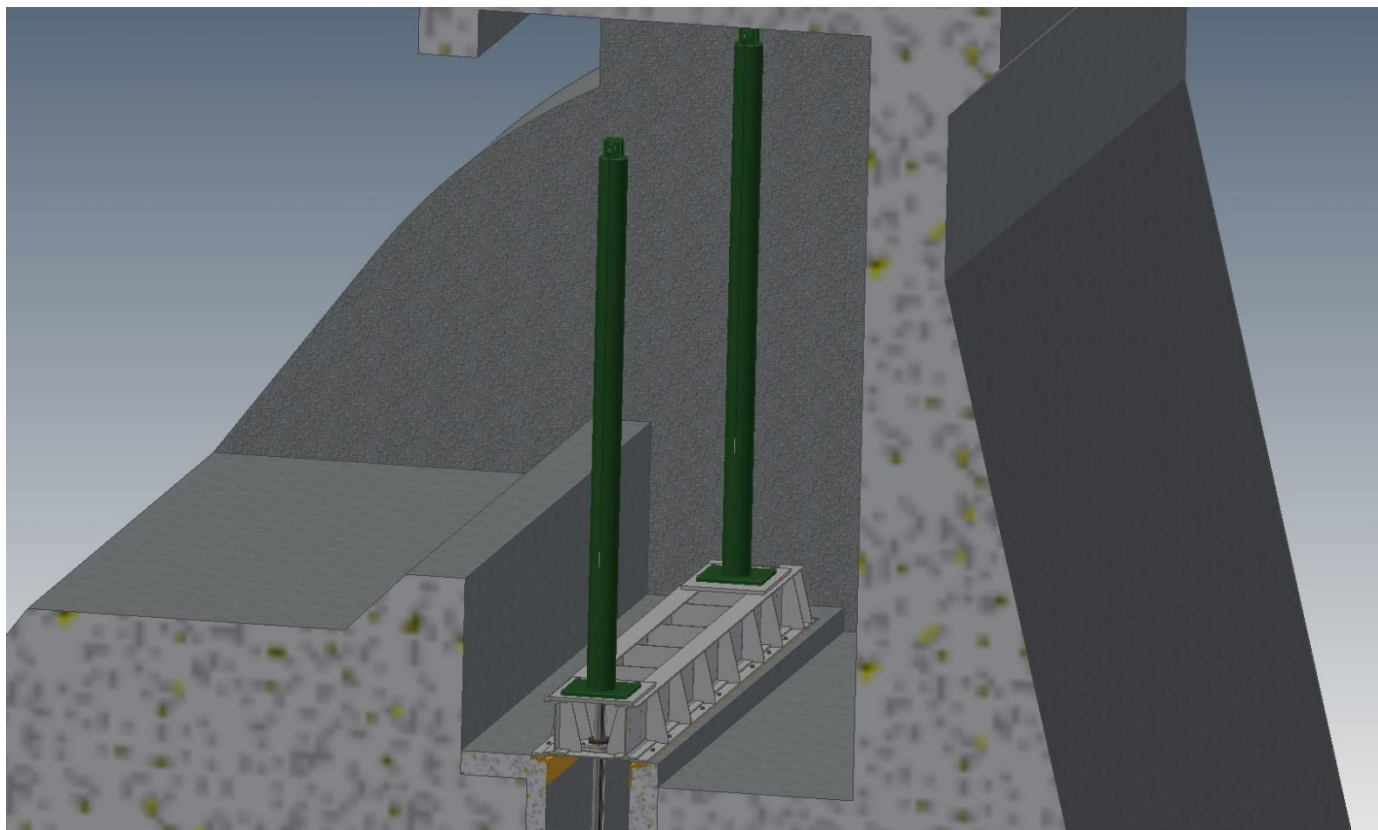
Altresì per permettere la chiusura della paratoia, la centralina inietterà olio nella camera lato "culatta" dei cilindri oleodinamici installati.

Sarà inoltre possibile attuare efficacemente la chiusura della paratoia a semplice gravità, fino a quota sfioro e quindi alla quota di invaso pari a 144.9 m s.l.m. agendo sulle apposite elettrovalvole di messa in scarico delle camere dei cilindri oleodinamici.

Questa doppia configurazione è stata studiata al fine di permettere efficacemente la chiusura della paratoia fino alla posizione desiderata anche in caso di assenza di energia.

La centralina di comando sarà altresì corredata di apposita batteria di accumulatori a sacca di azoto opportunamente dimensionati al fine di permettere una completa apertura della paratoia anche in caso di assenza di energia elettrica.

Per ultimo, al fine di garantire la massima sicurezza nel funzionamento dell'impianto, la centralina di comando sarà corredata di apposita pompa manuale e comandi manuali di attuazione elettrovalvole di comando per permettere ogni manovra (chiusura e apertura) in assenza di ogni fonte di energia (alimentazione elettrica motori, alimentazione elettrica elettrovalvole, pressione stoccata negli accumulatori a sacca di azoto).



11.2 DIMENSIONAMENTO BATTERIA DI ACCUMULATORI

I dati di progetto necessari al dimensionamento degli accumulatori saranno pertanto:

- | | | |
|--|---|---------------------------|
| • Funzione richiesta | = | APERTURA PARATOIA |
| • Corsa | = | 3500 mm (apertura totale) |
| • Volume olio necessario apertura completa (3500 mm) | = | 123 litri |
| • Pressione massima richiesta | = | 83.5 bar |
| • Pressione minima dimensionamento | = | 60 bar |

DIMENSIONAMENTO ACCUMULATORE A SACCA AZOTO											
CALCOLI											
PRESSIONE CARICA ACCUMULATORE	P1	120	bar								
PRESSIONE MINIMA NECESSARIA	Pmin	60	bar								
VOLUME MASSIMO NECESSARIO	V	123	litri								
PRECARICA AZOTO NECESSARIA	Po	51	bar								
RAPPORTO DI COMPRESSIONE	P2/Po	2.35294	-								
VOLUME ACCUMULATORE	Vacc	50	litri								
VOLUME OLIO EROGABILE IN CONDIZIONI ADIABATICHE	Voil	17	litri								
NUMERO ACCUMULATORI		8									
VOLUME TOTALE OLIO EROGABILE (ADIABATICA)		136								OK	
RAPPORTO SICUREZZA VOLUME		1.10569	-								
SCELTA DATI E VERIFICA											
PRECARICA AZOTO	Po	51	bar								
PRESSIONE MINIMA EROGABILE	Pmin	60	bar								
RAPPORTO DI COMPRESSIONE	P2/Po	2.35294	-								
VOLUME OLIO EROGABILE IN CONDIZIONI ADIABATICHE	Voil	17	litri								
NUMERO ACCUMULATORI		8									
VOLUME TOTALE OLIO EROGABILE (ADIABATICA)		136								OK	

	$\Delta P = P2/P0$	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.5	4
Litri/ Litres	0.1	0.004	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06
	0.35	0.01	0.05	0.08	0.1	0.11	0.13	0.14	0.15	0.17	0.18
	0.5	0.02	0.08	0.12	0.15	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26	0.28
	0.8	0.03	0.11	0.17	0.22	0.26	0.3	0.32	0.35	0.38	0.41
	1.3	0.04	0.18	0.28	0.36	0.43	0.48	0.52	0.56	0.62	0.67
	1.5	0.05	0.2	0.33	0.4	0.49	0.55	0.6	0.65	0.72	0.78
	2.3	0.08	0.3	0.5	0.6	0.75	0.85	0.9	0.99	1.1	1.19
	2.5	0.09	0.33	0.57	0.7	0.8	0.9	0.95	1	1.2	1.3
	4	0.14	0.5	0.8	1.1	1.3	1.4	1.53	1.7	1.92	2.2
	5	0.18	0.7	1	1.4	1.6	1.8	1.93	2.1	2.3	2.5
	6	0.2	0.8	1.2	1.6	1.8	2.1	2.3	2.5	2.63	2.75
	10	0.36	1.4	2.1	2.7	3.1	3.6	3.9	4.3	4.7	5.2
	20	0.66	2.6	4	5.1	5.9	6.8	7.4	8	9.9	12.7
	35	1.2	4.6	7.3	9.3	10.8	12.3	13.3	14.4	15.4	16.5
	50	1.7	6.8	10.6	13.6	15.5	18	19.5	21.1	22.8	24.4

Viene pertanto scelto di installare n° 8 accumulatori a sacca di azoto precaricati a 50 bar (azoto) con pressione di carica dell'olio pari a 120 bar ed in grado di erogare efficacemente un volume d'olio pari a 136 litri a pressione finale di 60 bar.

Considerato che le paratoie sono studiate per essere posizionate con una luce di lavoro di 1.6 m le condizioni di lavoro dei cilindri saranno pertanto:

- Funzione richiesta = APERTURA PARATOIA
- Corsa = 1600 mm (apertura parziale)
- Volume olio necessario = 56.28 litri
- Pressione massima richiesta = 83.5 bar
- Pressione minima dimensionamento = 60 bar

Il volume erogato dalla batteria di accumulatori (136 litri) corrisponde a **2.4 volte** il volume necessario per aprire la paratoia della corsa desiderata di 1.6 m partendo dalla condizione di totale chiusura.

Analoga analisi è stata effettuata per l'azione di chiusura della paratoia.

Abbiamo visto precedentemente che la paratoia è in grado di effettuare una chiusura completa per la sola azione della gravità fino ad un battente d'acqua pari a 144.9 m s.l.m. (quota sfioro). In condizioni di battente superiore (condizioni considerate nel progetto dei manufatti) non si ritiene necessaria la chiusura della paratoia.

Tuttavia è stata considerata detta condizione per una corsa di chiusura pari a 1.9 m (corsa necessaria per portarsi dalla posizione di totale apertura a apertura residua di 1.6 m).

• Funzione richiesta	=	CHIUSURA PARATOIA
• Corsa	=	1900 mm (chiusura parziale)
• Volume olio necessario	=	96.69 litri
• Pressione massima richiesta (attuazione della chiusura)	=	17 bar
• Pressione minima dimensionamento	=	60 bar

Il volume erogato dalla batteria di accumulatori (136 litri) corrisponde a **1.4 volte** il volume necessario per chiudere la paratoia della corsa desiderata di 1.9 m partendo dalla condizione di totale apertura.



Foto illustrativa della batteria di accumulatori

11.3 DESCRIZIONE DELLA CENTRALINA OLEODINAMICA

La centralina oleodinamica, opportunamente dimensionata, sarà realizzata con un serbatoio in lamiera di acciaio e sottostante vasca di raccolta olio di capacità idonea per contenere il volume totale di fluido.

La “batteria di accumulatori” sarà installata a parte dalla centralina per ovvie ragioni di ingombro ed anch’essa sarà corredata di apposita vasca di raccolta atta a contenere il volume completo di olio stoccato all’interno della batteria.

La centralina sarà dotata dei seguenti accessori:

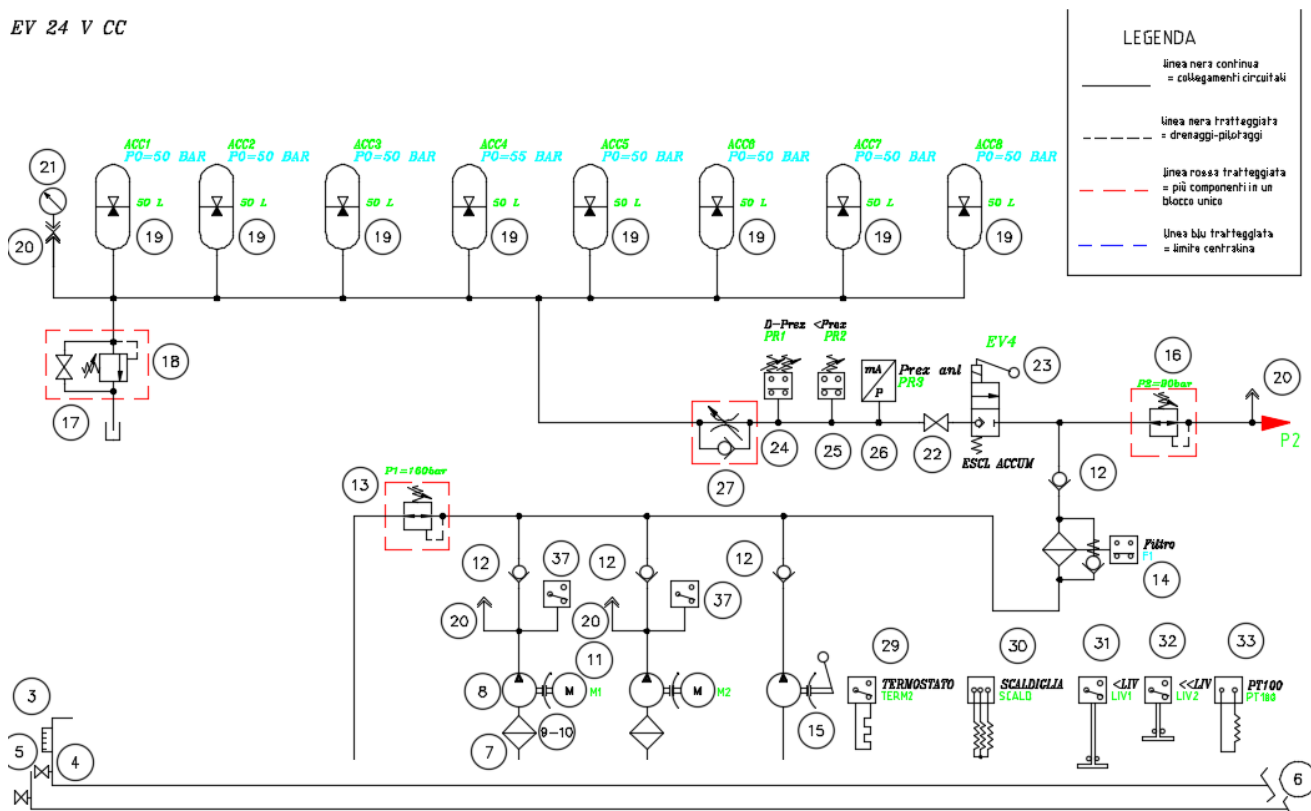
- Doppio gruppo motore-pompa (MOTORE= 7.5 Kw)
- Pompa manuale

- Filtri in aspirazione
- Filtri in mandata
- Pressostato di massima (160 bar)
- Valvola di sicurezza PED (300 bar)
- Pressostato differenziale
- Sensore di pressione analogico
- Scaldiglia
- Sonda di temperatura (PT 100)
- Termostato
- Batteria accumulatori a sacca di azoto (N°8 da 50 lt)
- Elettrovalvola di esclusione batteria accumulatori (comando elettrico e manuale)
- Elettrovalvola di attuazione Apri-Chiudi doppio effetto (comando elettrico e manuale)
- Elettrovalvola di chiusura a gravità (comando elettrico e manuale)
- Regolatori di flusso
- Valvole di esclusione ed isolamento paratoia
- Valvole di messa a scarico
- Oblò di ispezione
- Livellostatici elettrici
- Livellostatico visivo
- Termometro

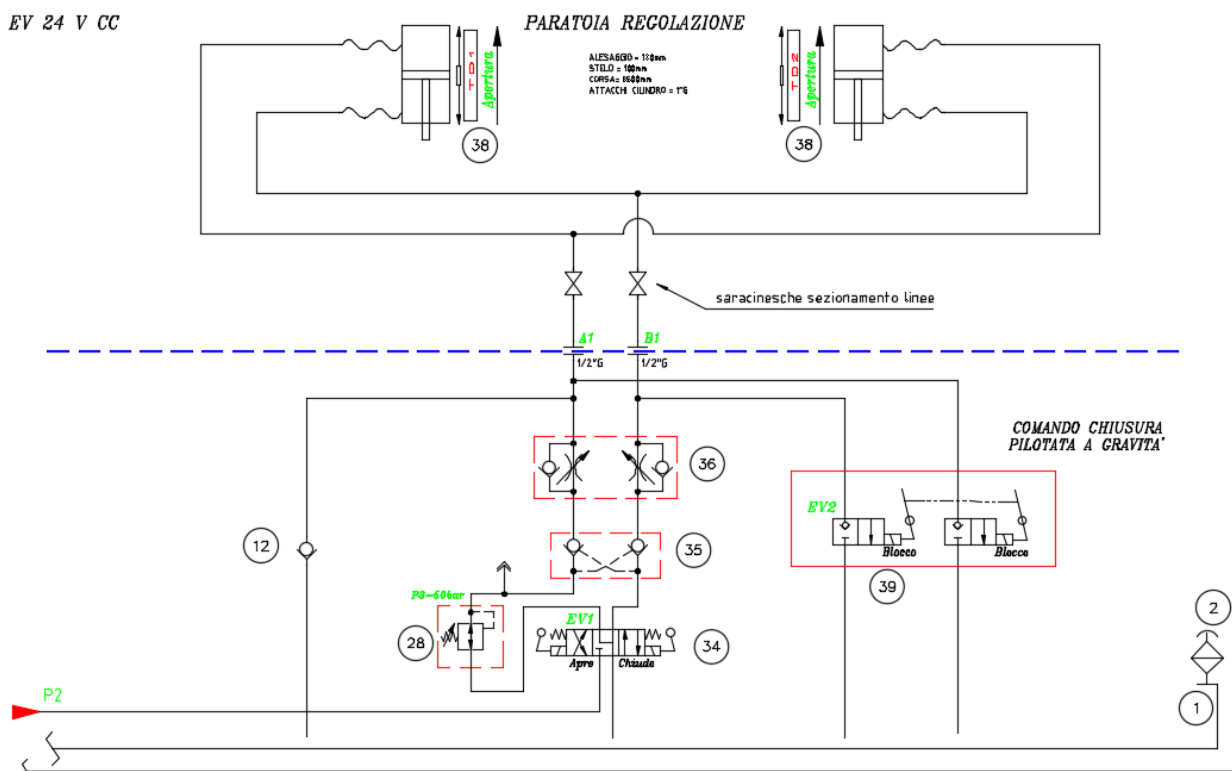


Foto illustrativa della centralina oleodinamica

EV 24 V CC



EV 24 V CC



RIF	DESCRIZIONE	MARCA	Q.TA'
1	VASCA IN LAMIERA VERNICIATA	SCOTTA	1
2	TAPPO CARICO SFIATO	MP	1
3	LIVELLO VISIVO	MP	1
4	RUBINETTO SCARICO SERBATOIO	EFFEBI	1
5	RUBINETTO SCARICO VASCA RACCOLTA OLIO	EFFEBI	1
6	VASCA RACCOLTA 100% OLIO	SCOTTA	1
7	FILTRO ASPIRAZIONE	MP	2
8	POMPA AD INGRANAGGI PLP	CASAPPA	2
9	LANTERNA ACCOPPIAMENTO	MP	2
10	GIUNTO ACCOPPIAMENTO	MP	2
11	MOTORE ELETTRICO 4p B5 230/400V 50Hz	SIMOTOP	2
12	VALVOLA RITEGNO	TOGNELLA	5
13	BLOCCO V.MAX	HYDROVER	1
14	FILTRO PRESSIONE	MP	1
15	POMPA A MANO	OMFB	1
16	VALV.RIDUTTRICE	DUPLOMATIC	1
17	RUBINETTO SCARICO	HYDROVER	1
18	VALVOLA DI SICUREZZA (CE/PED)	HYDROVER	1
19	ACCUMULATORE A-51C-E050NK Po=55 BAR	OMT	8

RIF	DESCRIZIONE	MARCA	Q.TA'
20	INNESTO PER MANOMETRO MCS.620.09.204.00	OLEOTEC	4
21	MANOMETRO D.63 RAD. 250 BAR 1/4"	WKA	1
22	RUBINETTO SEZIONAMENTO ACCUMULATORI	STAUFF	1
23	ELETTROVALVOLA CON COMANDO MANUALE ESCLUSIONE ACCUMULATORI	DUPLOMATIC	1
24	PRESSOSTATO DIFFERENZIALE	TELEMECHANIQUE	1
25	PRESSOSTATO MINIMA	TELEMECHANIQUE	1
26	PRESSOSTATO ANALOGICO	WKA	1
27	REG.FLUSSO	WALVOIL	1
28	VALVOLA RIDUTTRICE	DUPLOMATIC	1
29	TERMOSTATO	EMMEGI	1
30	SCALDIGLIA	REART	1
31	LIVELLO ELETTRICO RL/G1-F2-S1A MIN LIV	GIACOMELLI	1
32	LIVELLO ELETTRICO RL/G1-F2-S1A MAX LIV	GIACOMELLI	1
33	PT100	TERMOTECNICA	1
34	ELETTROV. L.6 DS3-S3/10N-D00-K1 24V DC	DUPLOMATIC	1
35	VALVOLA BLOCCO L.6 MOD. MVPP-D	DUPLOMATIC	1
36	REG.FLUSSO MOD.L.6 MERS-D	DUPLOMATIC	1
37	PRESSOSTATO GRUPPO POMPA-MOTORE	TELEMECHANIQUE	2
38	TRASDUTTORE LINEARE DI POSIZIONE	BALLUFF	2
39	ELETTROVALVOLA BLOCCO MANUALE	HYDROVER	1

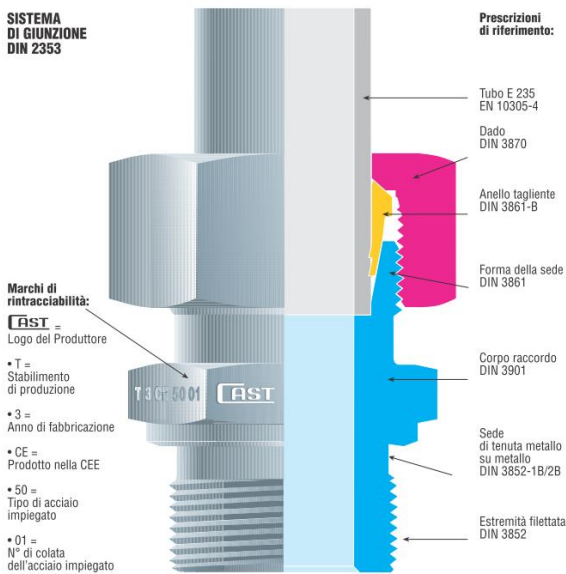
La centralina provvederà per il tramite dei gruppi di pompaggio al ripristino della carica della batteria di accumulatori installata in funzione del valore rilevato dal pressostato differenziale installato.

Al fine di garantire l'efficace mantenimento della pressione accumulata nei serbatoi in pressione, questi saranno corredati di apposita elettrovalvola di esclusione che verrà azionata dal sistema di controllo in caso di necessità.

Altresì detta elettrovalvola avrà un comando di apertura manuale in modo da poter utilizzare l'energia stoccata in forma di pressione anche in caso di mancanza di ogni forma di alimentazione elettrica.

Tutte le tubazioni oleodinamiche saranno realizzate in acciaio inox con giunzioni DIN 2353 a mezzo di ogiva idonee alla Pmax di 250 bar.

**SISTEMA
DI GIUNZIONE
DIN 2353**



**Prescrizioni
di riferimento:**

• TUBI IN ACCIAIO INOSSIDABILE DA IMPIEGARE PER TUTTE LE SERIE

- Per i tubi in acciaio inossidabile consigliamo di utilizzare tubi calibrati e lucidati, trafilati a freddo senza saldatura, in materiale 1.4571 secondo UNI EN 10216-5 oppure ASTM A269.
- La durezza massima consentita misurata sul diametro esterno del tubo è 85 HRB.
- Le pressioni indicate nella tabella sottostante sono valide generalmente con un carico costante e con temperatura compresa tra i -60°C e +200°C.

ØTubo mm	Tolleranza EN 10305-1 mm	Spessore mm	Pressione DIN 2413-1 statico (bar)	Peso Kg/m	ØTubo mm	Tolleranza EN 10305-1 mm	Spessore mm	Pressione DIN 2413-1 statico (bar)	Peso Kg/m
4	±0,1	0,5	326	0,048	20	±0,08	2 ⁽²⁻³⁾	294	0,902
4		1	544	0,076	20		2,5	368	1,095
6		1	406	0,125	20		3	389	1,277
6	±0,1	1,5	572	0,169	20		3,5	444	1,446
6		2	721	0,200	20		4	498	1,602
8		1	347	0,225	22		1,5 ⁽³⁾	200	0,764
8	±0,1	1,5	449	0,244	22		2 ⁽¹⁾	267	1,001
8		2	572	0,301	22		2,5	334	1,220
8		2,5	686	0,344	22	±0,08	3	401	1,427
10		1	294	0,225	22		4 ⁽³⁾	459	1,802
10		1,5	389	0,319	22		5 ⁽³⁾	555	2,402
10	±0,1	2	498	0,401	25		2 ⁽¹⁾	236	1,151
10		2,5	601	0,469	25		2,5	294	1,408
10		3	694	0,526	25	±0,08	3	352	1,653
12		1 ⁽¹⁾	245	0,275	25		4	411	2,104
12		1,5	368	0,394	25		4,5	456	2,310
12		2	426	0,500	25		5 ⁽³⁾	498	2,490
12	±0,08	2,5	516	0,585	28		2 ⁽¹⁾	210	1,301
12		3	601	0,676	28		2,5	263	1,596
12		3,5	679	0,745	28	±0,08	3	315	1,878
14		1,5	315	0,469	28		4 ⁽³⁾	420	2,403
14		2	420	0,601	28		5 ⁽³⁾	452	2,878
14	±0,08	2,5	452	0,720	30		2 ⁽²⁻³⁾	175	1,402
14		3	529	0,826	30		2,5	245	1,721
14		3,5	601	0,920	30	±0,08	3	294	2,028
15		1,5	294	0,507	30		4	392	2,604
15		2	392	0,651	30		5 ⁽³⁾	426	3,110
15	±0,08	2,5 ⁽³⁾	426	0,782	32		3 ⁽³⁾	275	2,177
15		3	498	0,902	32	±0,15	4 ⁽³⁾	368	2,803
16		1 ⁽³⁾	183	0,373	32		5 ⁽³⁾	403	3,378
16		1,5 ⁽²⁻³⁾	275	0,544	35		2 ⁽¹⁾	168	2,222
16	±0,08	2	368	0,702	35	±0,15	2,5	210	2,034
16		2,5	402	0,845	35		3	252	2,403
16		3	471	0,977	35		4	336	3,104
18		1 ⁽³⁾	163	0,423	38		3 ⁽²⁻³⁾	232	2,628
18		1,5 ⁽¹⁾	245	0,619	38	±0,15	4	310	3,405
18	±0,08	2	326	0,801	38		5	387	4,131
18		2,5	409	0,971	42		3	210	2,929
18		3	426	1,128	42	±0,2 ⁽⁴⁾	4	280	3,806
18		4 ⁽³⁾	544	1,401					

(1) Tubi a cui bisogna mettere la boccia di rinforzo solamente per raccordi a norma DIN 2353

(2) Da utilizzare solamente per raccordi a 37° norma ISO 8434-2/SAE J514

(3) Da utilizzare solamente per raccordi ORFS norma ISO 8434-3/SAE J1453

(4) La CAST S.p.A., per sua scelta tecnica, costruisce la sede tubo Ø42L con tolleranza B11.

PRESSIONI DI CALCOLO

Il calcolo della pressione con sollecitazioni statiche è eseguito secondo DIN 2413-1 con carico unitario di snervamento $K = 245N/mm^2$. Per tubi con rapporto tra diametro esterno/interno $> 1,35$ il calcolo è eseguito secondo DIN 2413-111, ma con carico unitario di snervamento $K = 245N/mm^2$.

Le pressioni con sollecitazioni dinamiche secondo DIN 2413-111 non sono indicate in quanto nella UNI EN 10216-5 non viene fornito il valore K della sollecitazione di fatica permanente. Raccomandiamo per il calcolo secondo DIN 2413-111 di assumere un valore $K = 190N/mm^2$.

Fattore di sicurezza $S = 1,5$

Coefficiente di riduzione $c = 0,9$

Corrosione: per il calcolo della pressione non viene considerato alcun fattore di correzione.

12. Accettabilità dei risultati del modello di calcolo adottato

Ai sensi della N.T.C 2008 (punto 10.2) si dichiara quanto segue:

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali principali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo AUTODESK INVENTOR

Versione 19

Produttore AUTODESK

Licenza Contratto #110002010808 scadenza 15/01/2021

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice AUTODESK ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dall'utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, si asserisce che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo **sono da ritenersi validi ed accettabili**.