ANDREA MARASCALCHI STUDIO DI INGEGNERIA

.

Ing. Andrea Marascalchi
San Polo, 2009
30125 Venezia
PI / 03058250279
CF / MRSNDR64S16L736V

Studio di Ingegneria
Campo San Giacometto, 135
San Polo 30125 Venezia
Tel. 0412770233
Fax. 0412775869
info@studiomarascalchi.it
www.studiomarascalchi.it

ETTORE BERTOLDINI COSTRTUZIONI METALLICHE s.r.l.
Via Malamocco, 86 – 30126 – Lido di Venezia

PARATIE STAGNE ANTIALLAGAMENTO "AcquaLock®"

-VERIFICHE TEORICHE DI CALCOLO
-ABACO MODELLI
-SCHEDE DELLE CARATTERISTICHE STRUTTURALI
-DETTAGLI COSTRUTTIVI

Venezia, Marzo 2012

Ing. Andrea Marascalchi

INDICE

1. GENERALITA' 2

1.1. DOCUMENTI DI PROGETTO 3

1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 3

1.3. DURABILITA' 3

1.4. METODI DI CALCOLO 4

1.5. CODICI DI CALCOLO 4

2. PRESCRIZIONI SUI MATERIALI 5

2.1. PROFILI METALLICI 5

2.2. LAMIERE 5

3. AZIONI DI PROGETTO E COMBINAZIONI DI CALCOLO 5

4. STRUTTURA DELLE PARATOIE 6

5. MODELLI, AZIONI E VERIFICHE CONSIDERATE 7

5.1. CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI 9

5.1.1. Tubo 30x30x2 10

5.1.2. Tubo 50x30x2 10

5.1.3. Tubo 70x30x2 10

6. SOLLECITAZIONI E TENSIONI 11

6.1. PARATOIA T.1 100x100 11

6.2. PARATOIA T.2 75x160 13

6.3. PARATOIA T.3 50x200 15

6.4. PARATOIA T.4 75x230 17

6.5. PARATOIA T.3-2M (50+50)x200 19

6.6. PARATOIA T.5-2M (50+50)x270 21

6.7. SCHEMA RIASSUNTIVO DELLE SOLLECITAZIONI E TENSIONI 23

7. VERIFICHE 25

7.1. TUBI 30x30x2 25

7.1.1. Verifiche 25

7.2. TUBI 50x30x2 25

7.2.1. Verifiche 25

7.3. TUBI 70x30x2 26

7.3.1. Verifiche 26

7.4 LAMIERA SPESSORE 1,5mm 26

7.5 SOLLECITAZIONI COMPOSTE E INSTABILITA' DEI PROFILI TUBOLARI 26

7.5.1. Flessione e taglio 26

7.5.2. Presso-flessione, tenso-flessione biassiale e instabilità 27

7.6. DEFORMABILITA' 27

1. GENERALITA'

Oggetto della presente relazione sono le caratteristiche strutturali delle paratie antiallagamento della ditta "Ettore Bertoldini Costruzioni metalliche", denominate "**AcquaLock®**". Fanno parte integrante della presente relazione gli schemi strutturali delle tipologie previste dalla produzione standard di tali paratoie e le loro verifiche teoriche di calcolo.

Le paratie saranno realizzate in acciaio, con l'utilizzo di profili tubolari e lamiere piegate; specifiche indicazioni sul tipo di materiali sono riportati successivamente.

Sono presi in considerazione 5 modelli di paratoie (identificate con la sigla T1, T2, T3, T4 e T5), mentre altri due modelli sono ottenuti dalla sovrapposizione di due moduli base: T.3-2M e T.5-2M. I vari modelli sono caratterizzati ed identificati ciascuno da dimensioni precise: un'altezza e una larghezza massima. L'altezza massima è identificata dalle misure 50 cm, 75 cm o 100 cm; per ciascun modello è espressa inoltre una larghezza massima. Caso particolare è rappresentato dalla paratoia tipo T.1 che è disponibile nelle tre altezze massime 50, 75 e 100 cm in modulo unico, a cui corrispondono le tre larghezze massime rispettivamente di 180, 140 e100 cm.

La scelta del modello ottimale di paratoia avverrà in funzione della lunghezza dell'apertura da proteggere (larghezza della paratoia) e dall'altezza di protezione desiderata. A tale scopo è stata predisposto un abaco di semplice consultazione che fornisce anche il peso delle paratoie in funzione di altezza e larghezza.

Per quanto riguarda le azioni agenti sugli elementi di paratoia, si è considerata come unica azione agente (oltre ovviamente al peso proprio degli elementi) quella della spinta idrostatica dell'acqua, inequivocalmente determinata dalle note leggi della fisica e per questa non maggiorata con i coefficienti di combinazione nelle verifiche agli stati limite ultimi.
Nelle verifiche non si sono considerate sovrappressioni per effetti dinamici. Queste sono quindi condotte con riferimento a spinte idrostatiche corrispondenti al livello massimo di protezione ottenibile dalla paratoia.

La presente relazione prende in considerazione gli elementi principali della struttura portante dei 7 modelli di paratoie descritti; non si effettuano valutazioni sul sistema di fissaggio delle stesse alle parti fisse dell'edificio, che dipendono dalla natura del supporto, riportando però per ciascuna tipologia gli sforzi massimi orizzontali che gli elementi di collegamento devono garantire (vedi schede tecniche allegate).

1.1. DOCUMENTI DI PROGETTO

Della presente relazione fanno parte integrante i seguenti elaborati:

Elaborato	Titolo
Scheda 1	ABACO MODELLI
Scheda 2	PARATOIA TIPO **T.1 1000x1000**
Scheda 3	PARATOIA TIPO **T.1 750x1400**
Scheda 4	PARATOIA TIPO **T.1 500x1800**
Scheda 5	PARATOIA TIPO **T.2 750x1600**
Scheda 6	PARATOIA TIPO **T.3-2M (500+500)x2000**
Scheda 7	PARATOIA TIPO **T.4 750x2300**
Scheda 8	PARATOIA TIPO **T.5-2M (500+500)x2700**
Scheda 9	PARATOIA TIPO **T.3 500x2900**
Scheda 10	PARATOIA TIPO **T.5 500x3500**
Scheda 11	PARTICOLARI COSTRUTTIVI

1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Calcolo e verifica delle strutture sono stati condotti nel rispetto della vigente normativa sulle costruzioni e sui carichi. In particolare ci si è attenuti a quanto disposto da:

- D.M. 14 gennaio 2008, “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- UNI EN 1993-1-1:2005, “Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”
- UNI EN 1993-1-3:2007, “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo”
- UNI EN 1993-1-5:2007, “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-5: Regole generali - Strutture a lastra ortotropa caricate al di fuori del piano”

1.3. DURABILITA'

Per quanto riguarda la durabilità e la manutenzione degli elementi, in considerazione che si tratta di strutture metalliche e visto che è prevista una adeguata verniciatura si ritiene che sia sufficiente una verifica annuale dello stato di conservazione, con particolare attenzione allo strato di vernice protettiva. Se non utilizzate le paratie dovranno essere conservate in luoghi asciutti e non soggetti ad sostanze aggressive, dopo l’utilizzo è consigliabile sciacquare e ripulire gli elementi prima di riporli evitando la presenza di ristagni d’acqua.

1.4. METODO DI CALCOLO

Nella stesura dei calcoli ci si è attenuti alle norme vigenti per la disciplina delle opere in acciaio; il metodo di verifica adottato è quello semiprobabilistico agli stati limite. La presente relazione strutturale di calcolo comprende solo una parte dei calcoli strutturali: le verifiche non riportate sono state condotte analogamente a quelle descritte e risultano disponibili nelle minute di studio. L'analisi delle strutture è stata condotta secondo i metodi della scienza delle costruzioni supponendo i materiali elastici o elastoplastici, omogenei ed isotropi. La ricerca dei parametri di sollecitazione è stata fatta secondo le disposizioni di carico più gravose avvalendosi di codici di calcolo automatico per l'analisi strutturale.

1.5. CODICI DI CALCOLO

Tutti i codici di calcolo automatico utilizzati per il calcolo, la verifica delle strutture e la redazione della presente relazione sono di sicura ed accertata validità e sono stati impiegati conformemente alle loro caratteristiche. Tale affermazione è suffragata dai seguenti elementi:

- grande diffusione del codice di calcolo sul mercato;
- storia consolidata del codice di calcolo (svariati anni di utilizzo);
- utilizzo delle versioni più aggiornate (dopo test);

Si è inoltre fatto riferimento a quanto prescritto in:
CNR UNI 10024/84 - "Analisi di strutture mediante elaboratore".
I codici utilizzati sono:

- Midas Gen sviluppato da MIDAS Information Technology Co., Ltd.
- Programmi Gratuiti per Ingegneria Civile (Civil Engineering Free Software) sviluppati con la collaborazione degli studenti da Piero Gelfi

2. PRESCRIZIONI SUI MATERIALI

2.1. PROFILI METALLICI

Tutti i profili, tubi quadri e rettangoli, in carpenteria metallica si prevedono in acciaio tipo S235JR secondo UNI EN 10025 e 10027, pulite e sgrassate con sabbiatura con grado di preparazione SA2½ .

tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} \geq$	235 MPa
tensione caratteristica di rottura:	$f_{tk} \geq$	360 MPa
modulo di elasticità:	E=	210000 MPa

2.2. LAMIERE

Le lamiere metalliche si prevedono in acciaio tipo S355JR secondo UNI EN 10025 e 10027, pulite e sgrassate con sabbiatura con grado di preparazione SA2½ .

tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} \geq$	355 MPa
tensione caratteristica di rottura:	$f_{tk} \geq$	510 MPa
modulo di elasticità:	E=	210000 MPa

3. AZIONI DI PROGETTO E COMBINAZIONI DI CALCOLO

Visto il particolare uso delle strutture in oggetto si considerano come uniche azioni agenti su di esse il peso proprio degli elementi che le compongono e la spinta idrostatica dell'acqua. Per quest'ultima si è considerato il valore massimo che può sviluppare l'acqua in condizione statiche, nell'ipotesi che il livello dell'acqua raggiunga e si mantenga al limite superiore della paratoia.
Considerato che la pressione statica dell'acqua assume un valore fisicamente e inequivocabilmente determinato in funzione dell'altezza del pelo libero, prescindendo da modesti scarti dovuti principalmente alla concentrazione di sali e altre sostanze disciolte, nella combinazione fondamentale agli SLU si considera un coefficiente parziale di combinazione per l'azione idrostatica γ pari a 1.

4. STRUTTURA DELLE PARATOIE

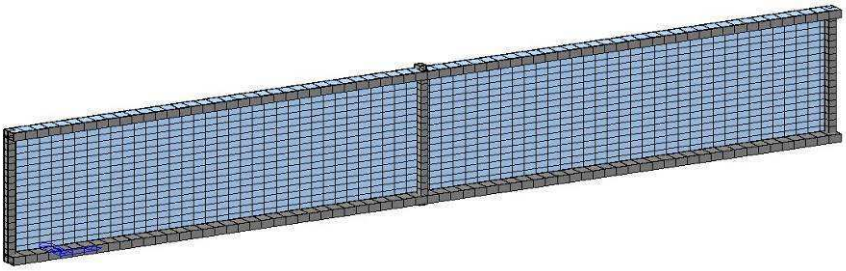
Nei capitoli seguenti si riportano le principali verifiche dei 5 tipi di paratoie considerati, valutando sia gli elementi principali in tubo che costituiscono il telaio portante che la lamiera resa collaborante.

Tutti i modelli sono composti da una lamiera dello spessore di 1,5 mm, mentre il telaio base è composto da profili tubolari saldati di sezione 30x30x2. Nei casi in cui le paratie coprono le maggiori larghezze, i tubi longitudinali inferiore e superiore hanno invece sezione rettangolare 50x30x2 (paratoia T.3 e T.4) e 70x30x2 (paratoia T.5).
I tubolari posti sul perimetro della paratoia e gli eventuali aggiuntivi longitudinali si considerano collaboranti con la lamiera di spessore 1,5mm, prevedendo adeguati punti di saldatura da garantire la mutua collaborazione. Il tubo verticale posto centralmente sulle paratoie si considera invece come punto di appoggio semplice per la lamiera.
La lamiera risulta piegata lungo i bordi longitudinali per una profondità pari alla maggiore dimensione dei tubi longitudinali meno 5 mm. Dettagli su saldature e piegatura della lamiera sono riportate nella scheda allegata denominata “Schema particolari tipo delle paratoie”.

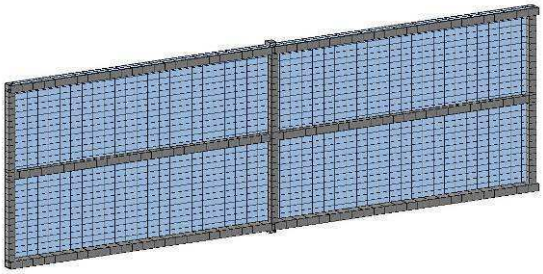
Si considera che le azioni orizzontali della spinta dell’acqua siano assorbite dai 4 collegamenti puntuali posti in corrispondenza dei due lati verticali, mentre la paratoia appoggia verticalmente sulla pavimentazione attraverso una guarnizione a tenuta stagna.

5. MODELLI, AZIONI E VERIFICHE CONSIDERATE

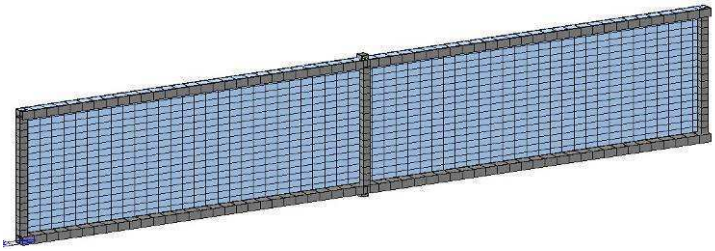
Per il calcolo delle sollecitazioni a cui sono soggetti i vari elementi delle 5 tipologie di paratoie considerate si è ricorso a 9 modelli ad elementi finiti, con l'ausilio del programma "*Midas Gen*".
La lamiera è realizzata in elementi "*plate*", con elementi "*beam*" a rappresentare gli elementi tubolari; per simulare il semplice appoggio della lamiera sul tubo centrale verticale si sono impiegati elementi "*truss*", in modo da eliminare irrigidimenti flessionali sulla lamiera.



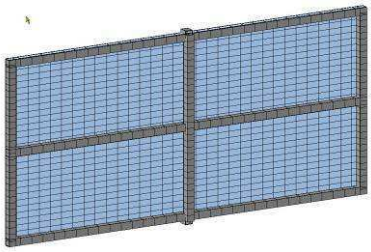
Vista assonometrica Paratoia T.5 (50x350)



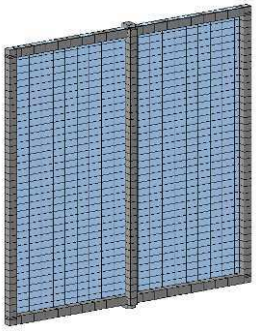
Vista assonometrica Paratoia T.4 (75x230)



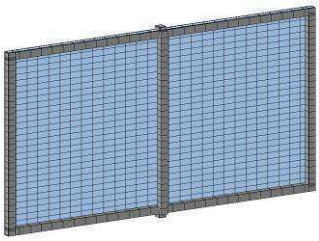
Vista assonometrica Paratoia T.3 (50x290)



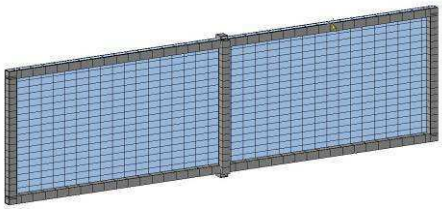
Vista assonometrica Paratoia T.2 (75x160)



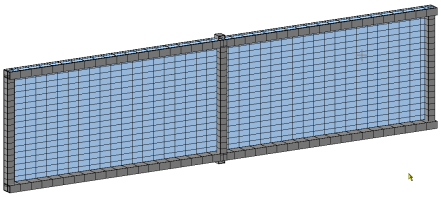
Vista assonometrica Paratoia T.1 (100x100)



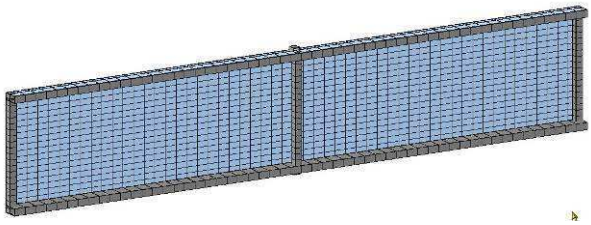
Vista assonometrica Paratoia T.1 (75x140)



Vista assonometrica Paratoia T.1 (50x180)

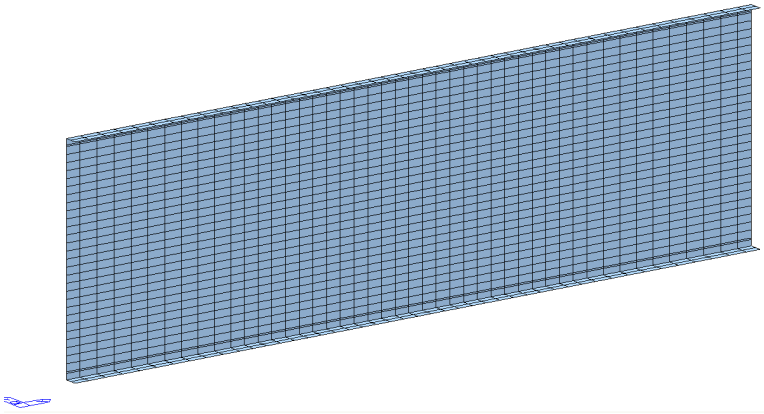


Vista elemento inf Paratoia T.3-3M (50+50x200)

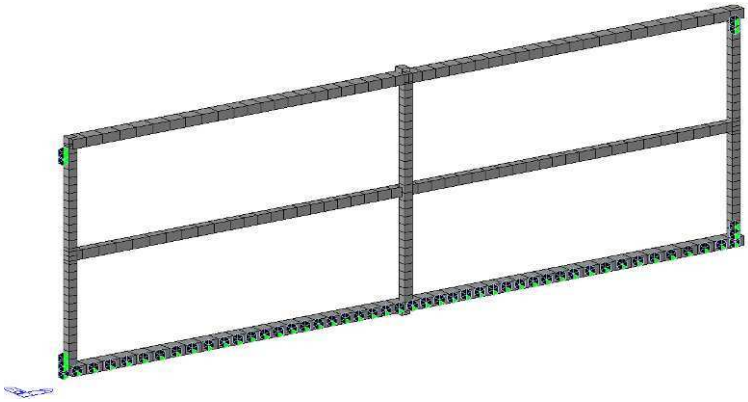


Vista elemento inf. Paratoia T.5-2M (50+50x270)

I vincoli per le azioni orizzontali (Dy=0), sono stati posti in corrispondenza alle due estremità laterali, in prossimità dei tubi verticali, posti puntualmente. I vincoli in direzione verticale (Dz=0) sono posti lungo il profilo orizzontale inferiore.



Vista assonometrica della lamiera



Vista assonometrica del telaio in tubi con vincoli

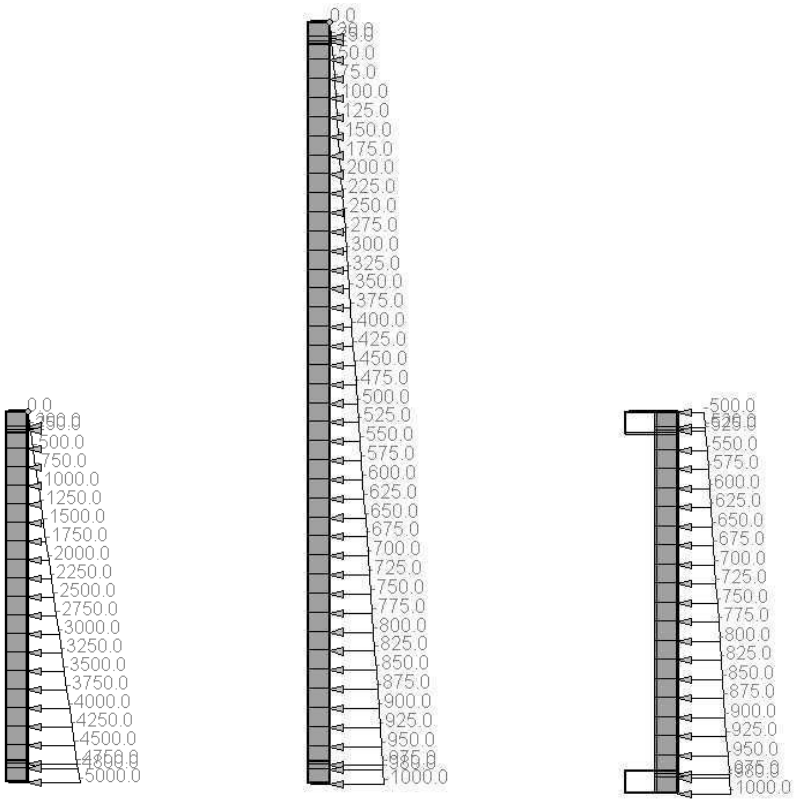
Per quanta riguarda le azioni applicate al modello oltre al peso gravitazionale proprio, si è applicato agli elementi "plate" una pressione idrostatica agente normalmente al piano degli elementi. I valori delle pressioni variano in funzione alle altezze delle paratoie, partendo da un valore minimo pari a 0 in corrispondenza del filo superiore della paratoia fino a:

$p_1 = \gamma_{H2O} \times h = 10 \times 0{,}5 = 5\ kN/m^2 = 0{,}005\ MPa$ per altezza paratoia 50cm

$p_2 = \gamma_{H2O} \times h = 10 \times 0{,}75 = 7{,}5\ kN/m^2 = 0{,}0075\ MPa$ per altezza paratoia 75cm

$p_3 = \gamma_{H2O} \times h = 10 \times 1{,}0 = 10\ kN/m^2 = 0{,}01\ MPa$ per altezza paratoia 100cm

in corrispondenza al bordo inferiore della paratoia.
Per quanto riguarda le paratoie denominate T.3-2M e T.5-2M, aventi altezza pari a 50 cm con possibilità di assemblare due moduli per una altezza totale della paratia pari a 100 cm, si è considerato il caso più sfavorevole con l'elemento più sollecitato avente h=50 cm e pressione compresa tra 0,005 MPa e 0,01 MPa.



5.1. CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

Per la verifica degli elementi principali risulta importante la classificazione della tipologia delle sezione, onde valutare se si possano verificare fenomeni di instabilità locale e individuare il metodo di verifica di tali elementi.
Per quanto riguarda i riferimenti normativi per la classificazione, si considerano le NTC "D.M. 14 gennaio 2008" tabelle 4.2.I e 4.2.II e i limiti dimensionali per l'applicazione delle UNI EN 1993-1-3. Si procederà di seguito alla classificazione delle sezioni dei profili utilizzati.

5.1.1. Tubo 30x30x2

Essendo la sezione in questione doppiamente simmetrica con h=b=c si considera un'unica dimensione:

c=b=h= 30 mm t= 2 mm per f_y= 235 MPa ε=1

c/t= 15< 72 ε per parete soggetta a flessione

c/t= 15< 36 ε per parete soggetta a compressione

la sezione risulta in classe 1

5.1.2. Tubo 50x30x2

Le principali dimensioni geometriche della sezione sono le seguenti:

c= 50 mm t= 2 mm per f_y= 235 MPa ε=1

c/t= 25< 72 ε per parete soggetta a flessione

c/t= 25 < 33 ε per parete soggetta a compressione

la sezione risulta in classe 1

5.1.3. Tubo 70x30x2

Le principali dimensioni geometriche della sezione sono le seguenti:

c= 70 mm t= 2 mm per f_y= 235 MPa ε=1

c/t= 35< 72 ε per parete soggetta a flessione

c/t= 35> 33 ε per parete soggetta a compressione

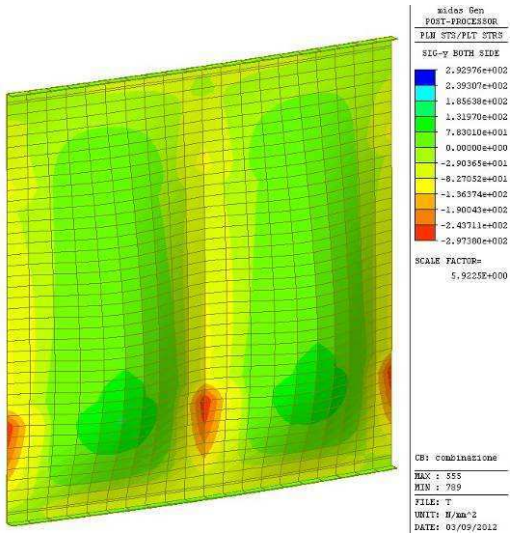
la sezione risulta in classe 1 per sollecitazioni flessionali.

Essendo tutti i profili tubolari in classe 1, questi sono in grado di sviluppare una cerniera plastica senza che si instaurino fenomeni di instabilità locale. Le regole di cui alla UNI EN 1993-1-3 non sono a questi casi applicabili; si farà quindi riferimento a quanto previsto nelle NTC "D.M. 14 gennaio 2008" Capitolo 4.2 e nella UNI EN 1993-1-1.
Per quanto riguarda la lamiera, visto che questa risulta sostenuta dal telaio principale in tubi, si eseguiranno delle verifiche tensionali elastiche escludendo fenomeni di instabilità per la presenza degli irrigidimenti tubolari.

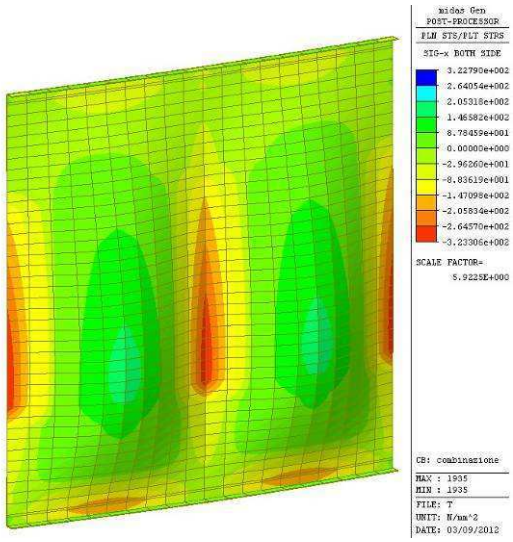
6. SOLLECITAZIONI E TENSIONI

Si riportano di seguito i risultati ottenuti per i modelli considerati, in particolare si riportano i diagrammi delle principali sollecitazioni del profili tubolari e lo stato tensionale della lamiera.

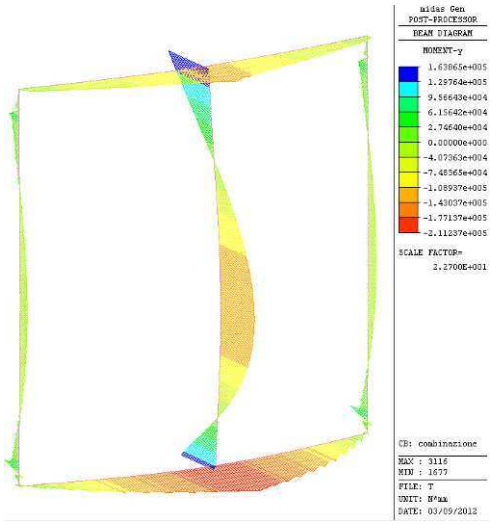
6.1. PARATOIA T.1 100x100



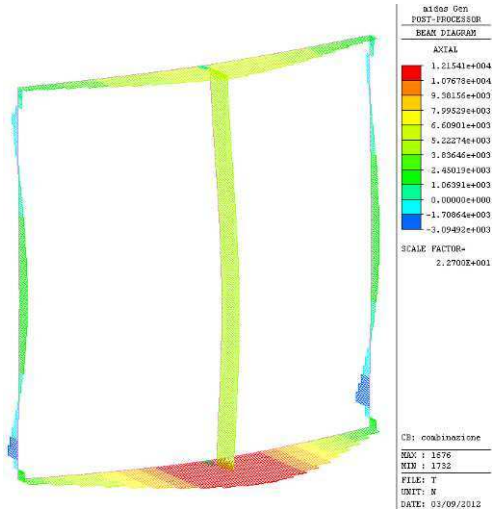
Tensioni σ_{yy} della lamiera



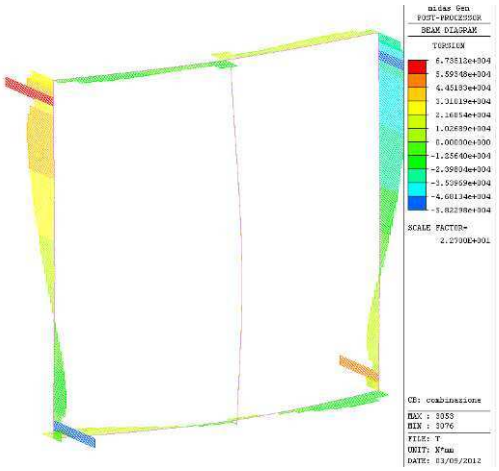
Tensioni σ_{xx} della lamiera



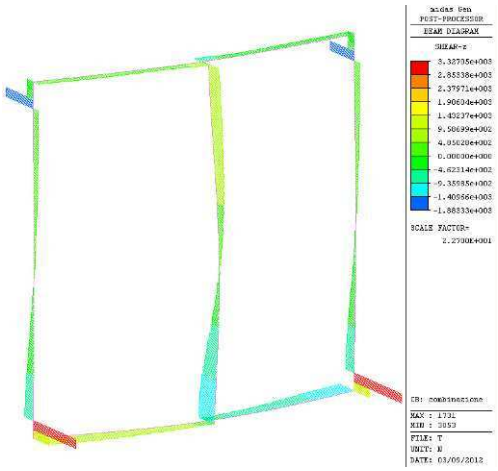
Sollecitazioni M_y dei profili metallici



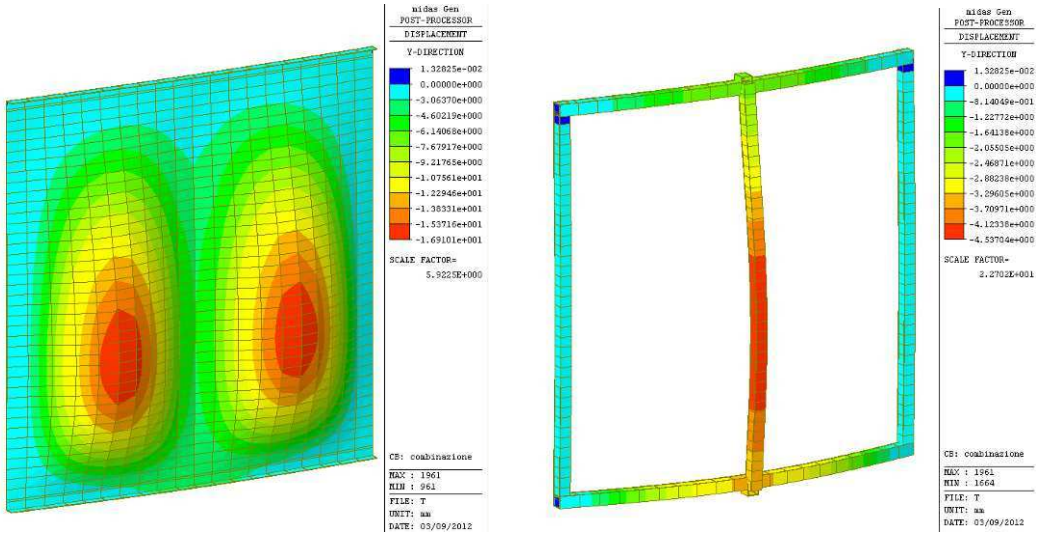
Sollecitazioni F_x (sforzi normali) dei profili metallici



Sollecitazioni M_x (torsione) dei profili metallici

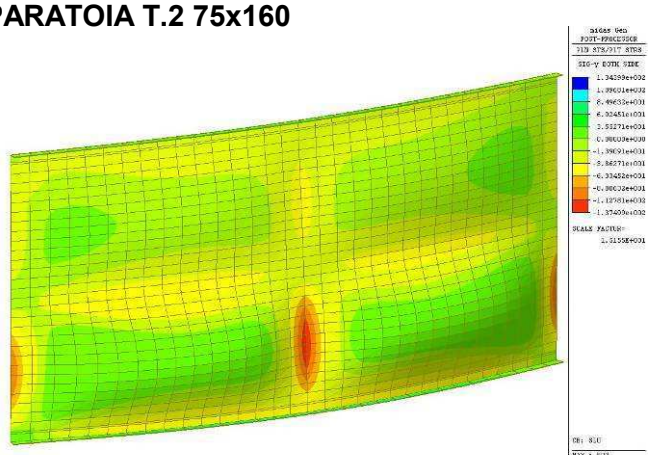


Sollecitazioni F_z dei profili metallici

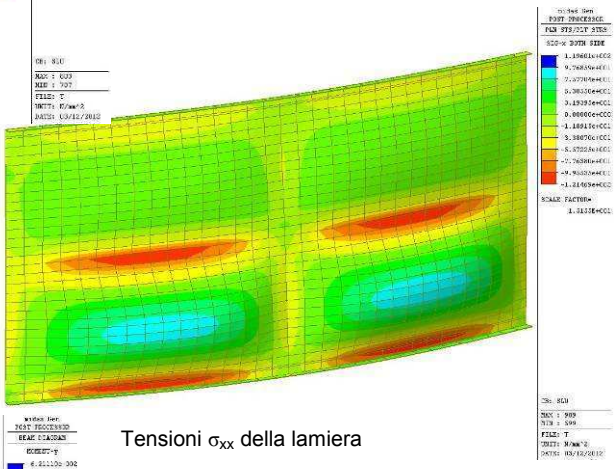


Deformata della lamiera e della struttura in tubolari con spostamenti Dy

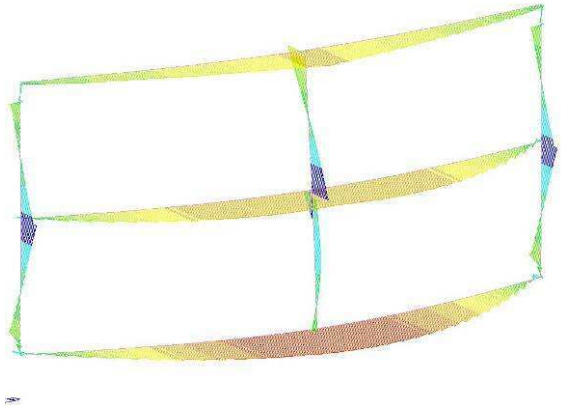
6.2. PARATOIA T.2 75x160



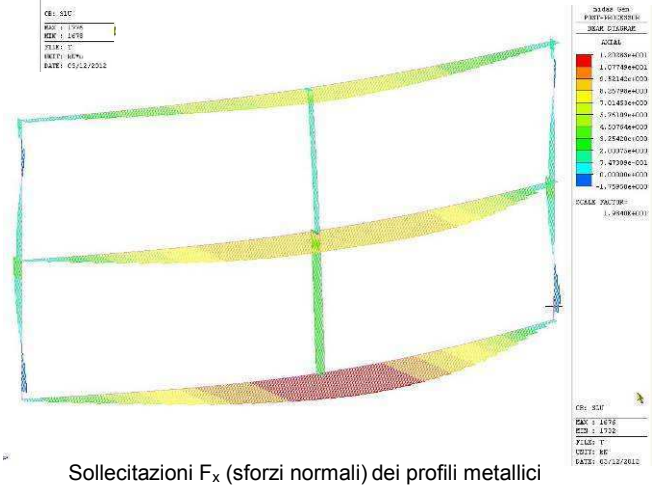
Tensioni σ_{yy} della lamiera



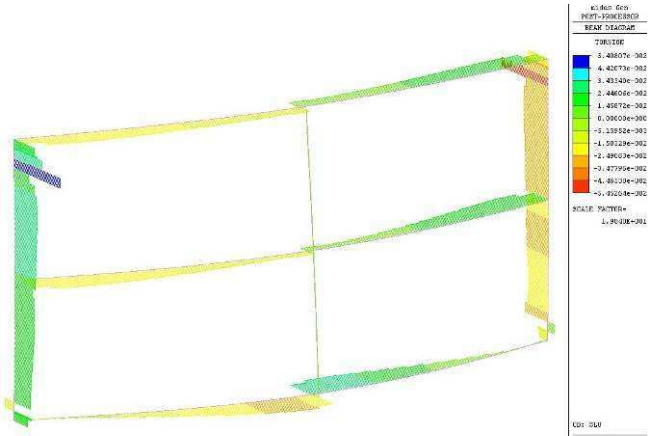
Tensioni σ_{xx} della lamiera



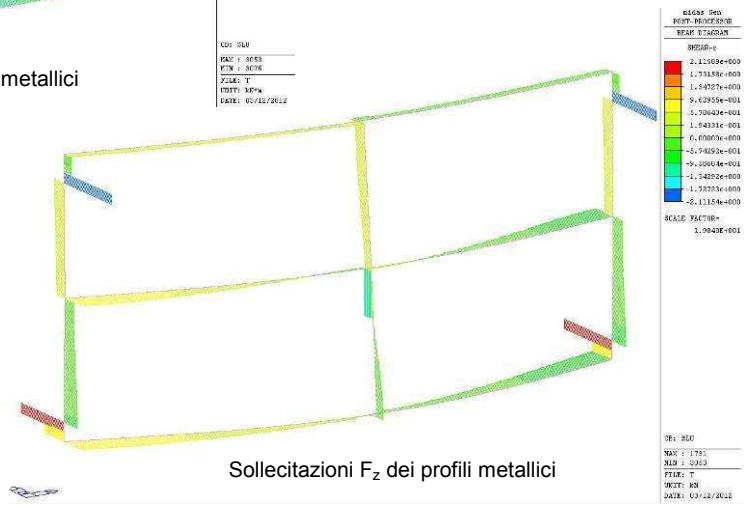
Sollecitazioni M_y dei profili metallici



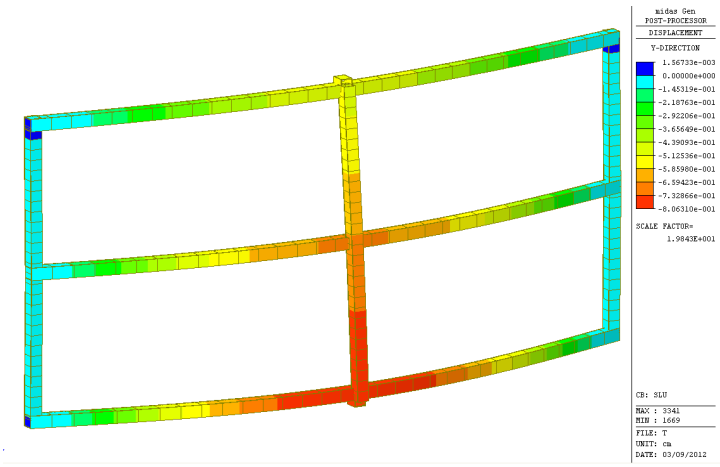
Sollecitazioni F_x (sforzi normali) dei profili metallici



Sollecitazioni M_x (torsione) dei profili metallici

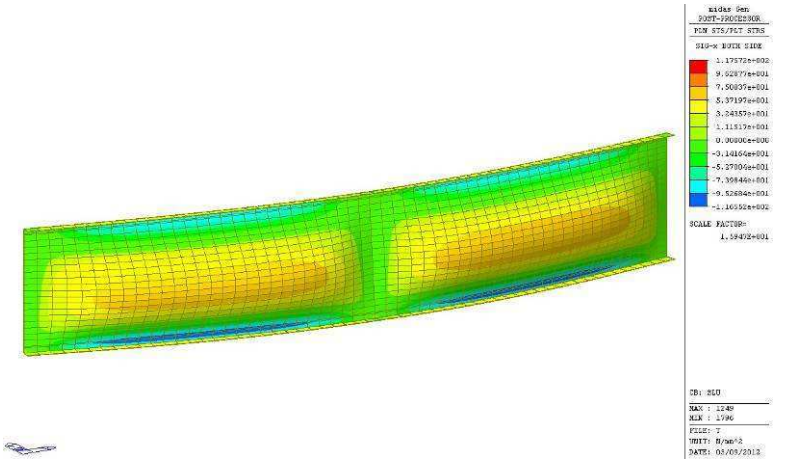


Sollecitazioni F_z dei profili metallici

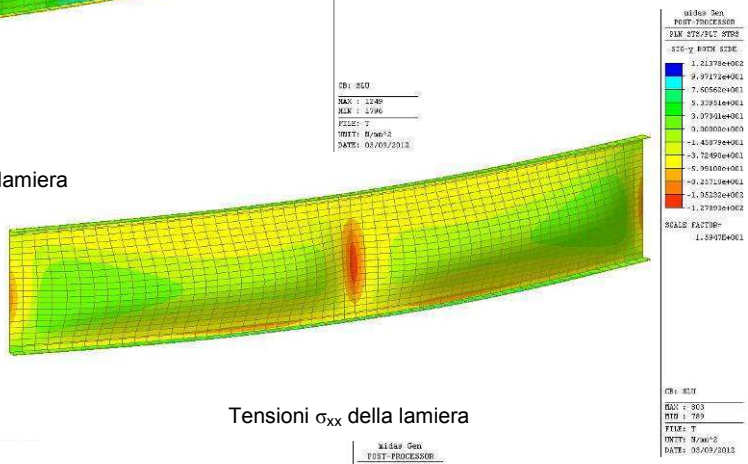


Deformata della struttura principale con spostamenti Dy

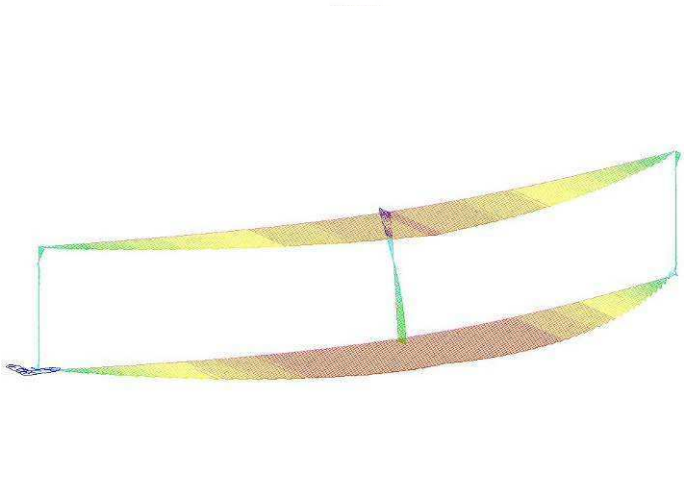
6.3. PARATOIA T.3 50x200



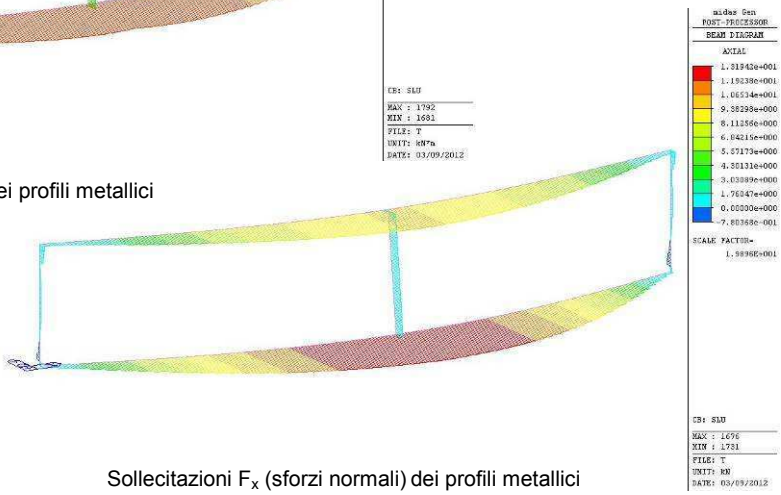
Tensioni σ_{yy} della lamiera



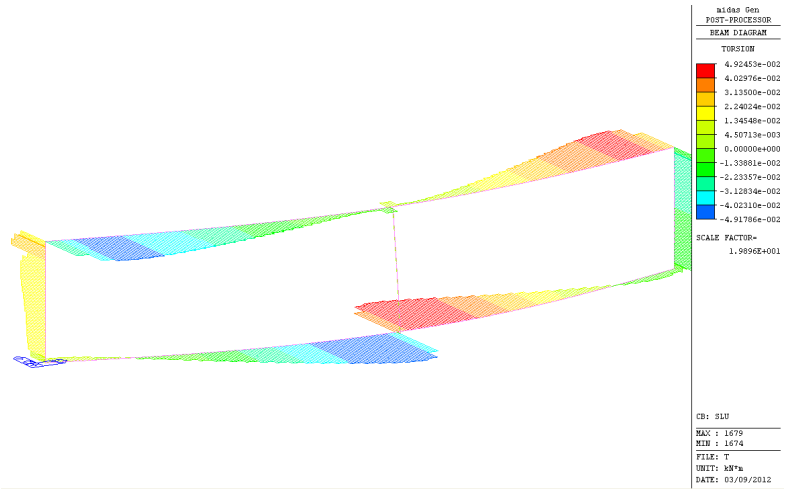
Tensioni σ_{xx} della lamiera



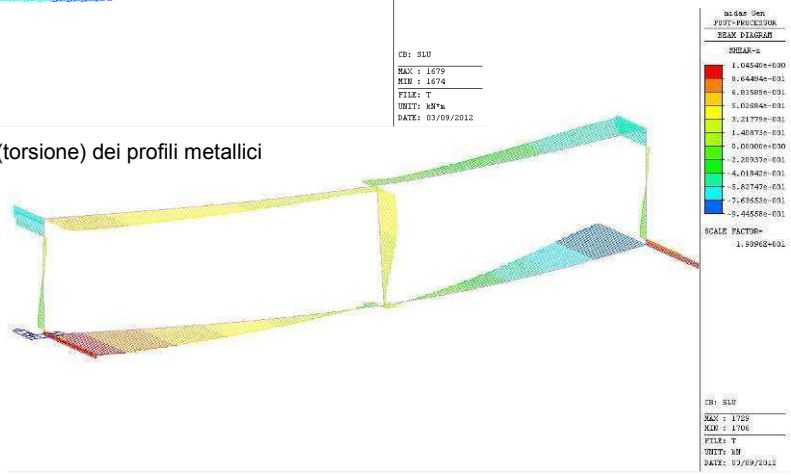
Sollecitazioni M_y dei profili metallici



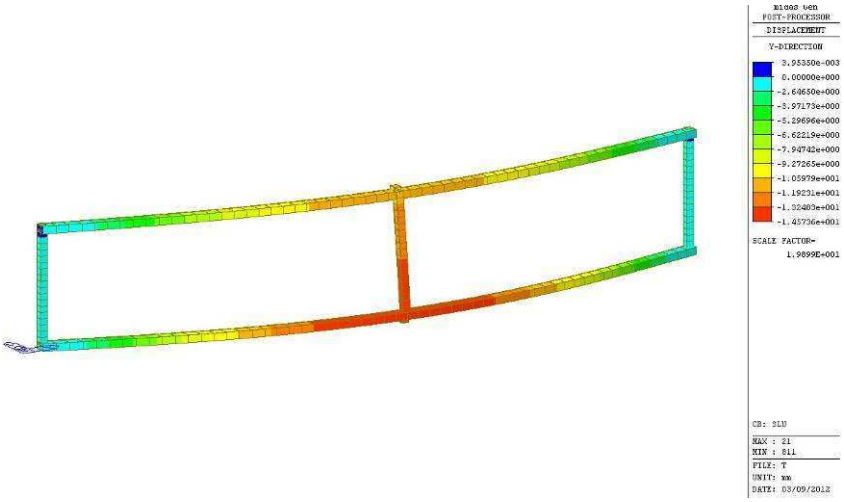
Sollecitazioni F_x (sforzi normali) dei profili metallici



Sollecitazioni M_x (torsione) dei profili metallici

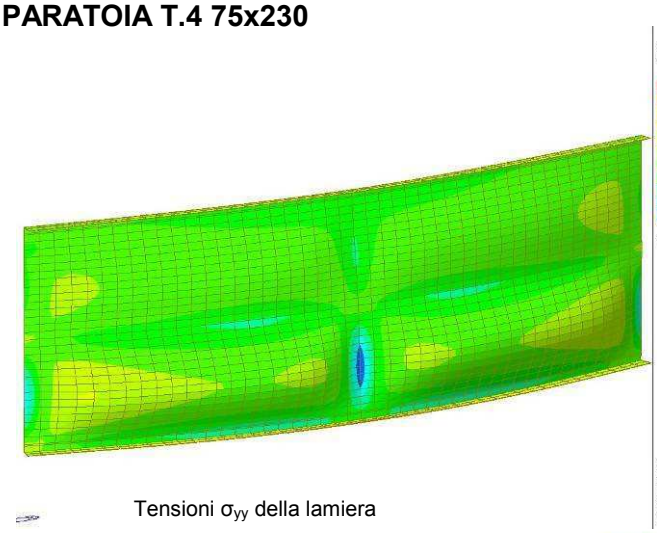


Sollecitazioni F_z dei profili metallici

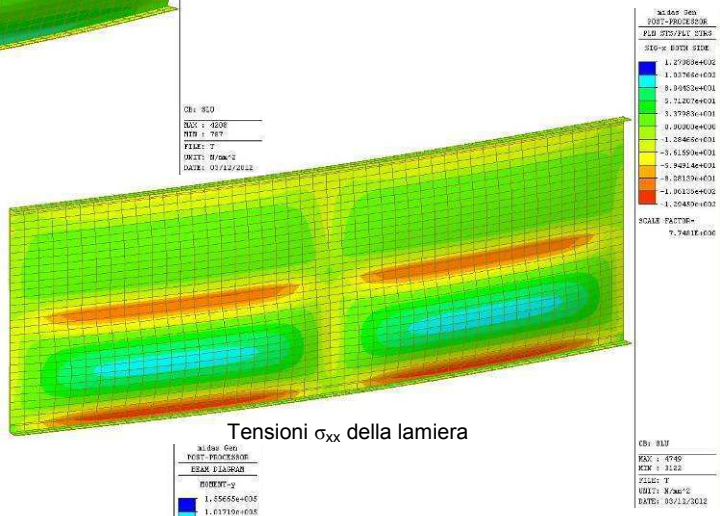


Deformata della struttura principale con spostamenti Dy

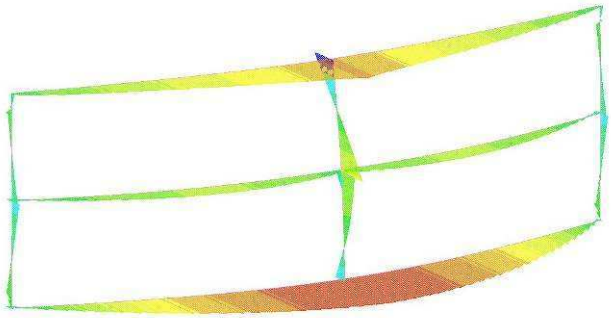
6.4. PARATOIA T.4 75x230



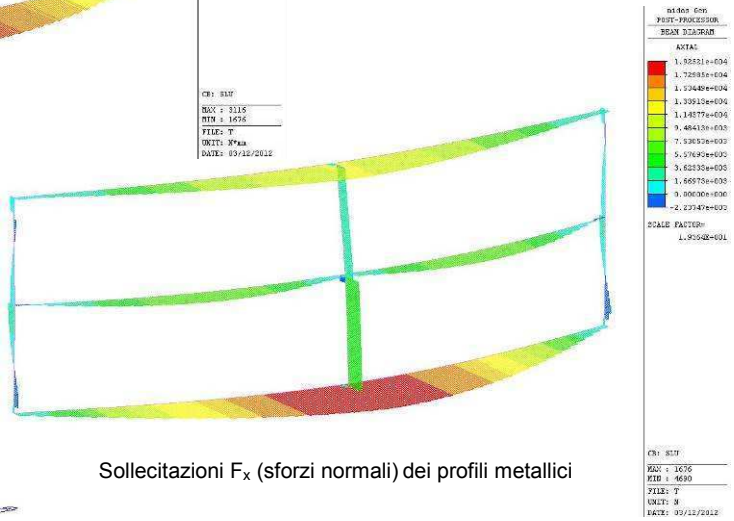
Tensioni σ_{yy} della lamiera



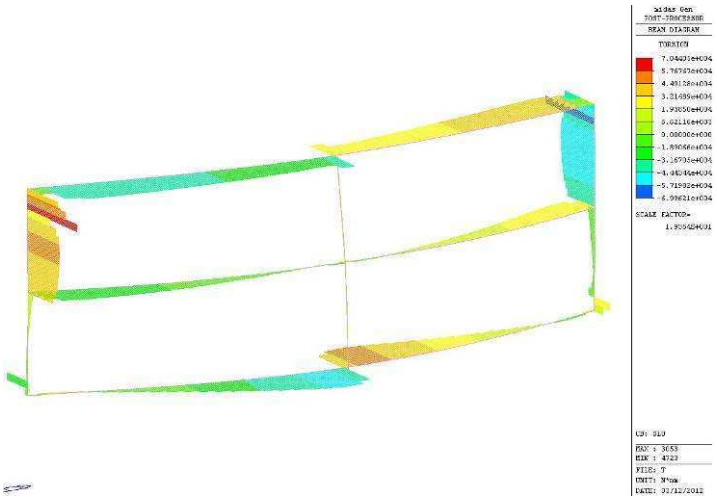
Tensioni σ_{xx} della lamiera



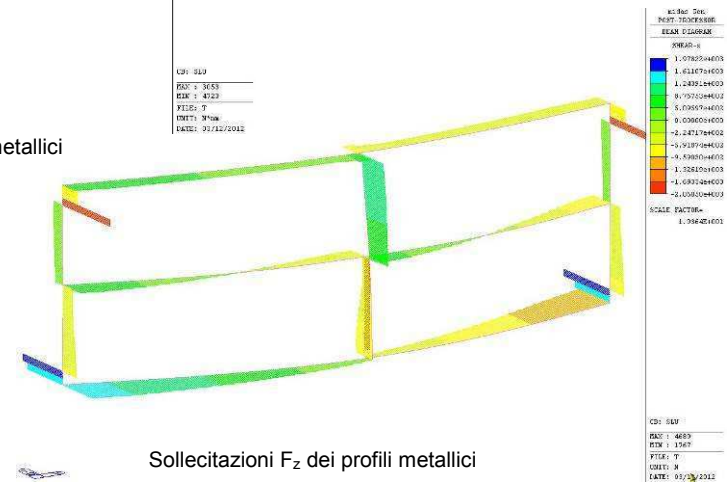
Sollecitazioni M_y dei profili metallici



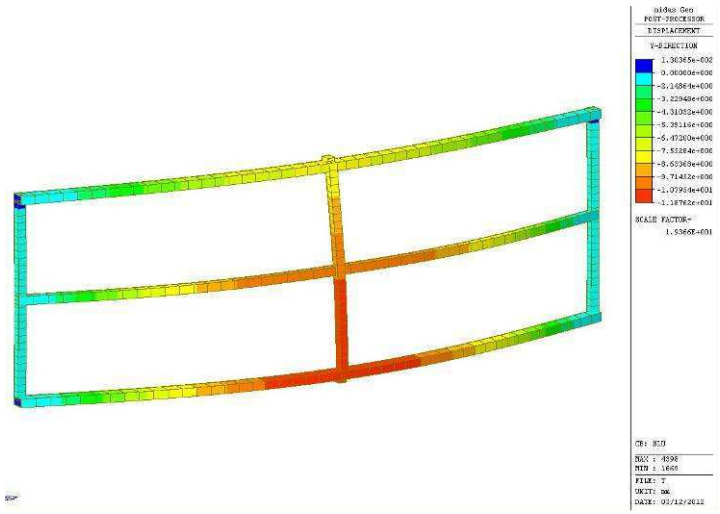
Sollecitazioni F_x (sforzi normali) dei profili metallici



Sollecitazioni M_x (torsione) dei profili metallici

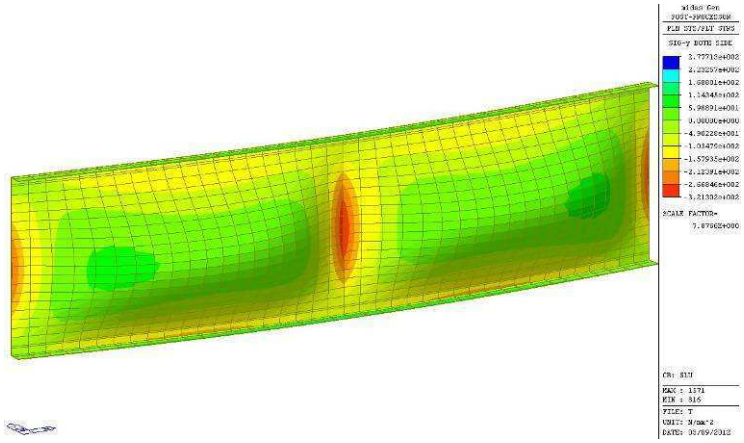


Sollecitazioni F_z dei profili metallici

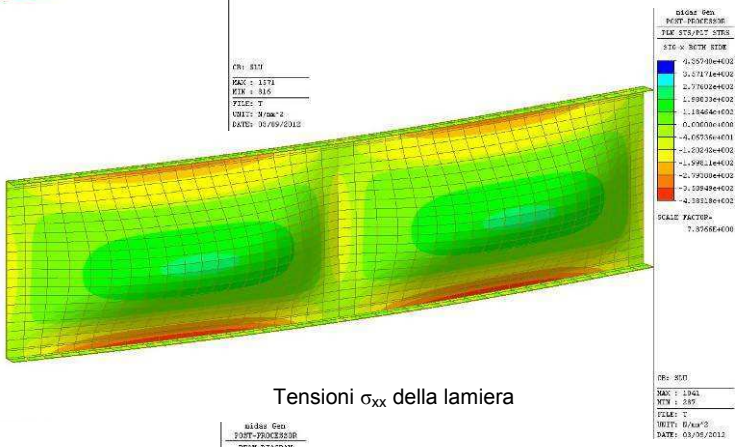


Deformata della struttura principale con spostamenti Dy

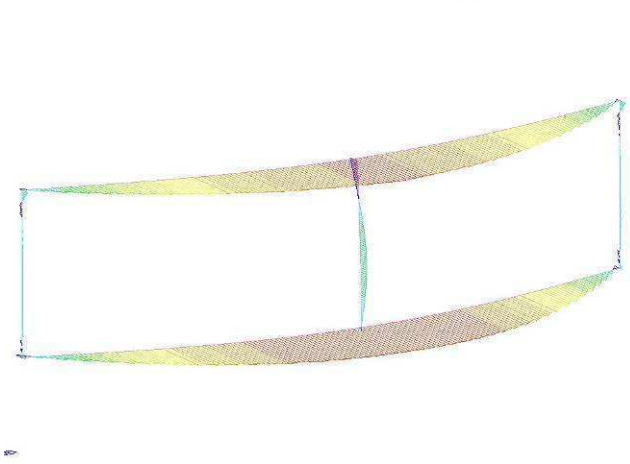
6.5. PARATOIA T.3-2M (50+50)x200



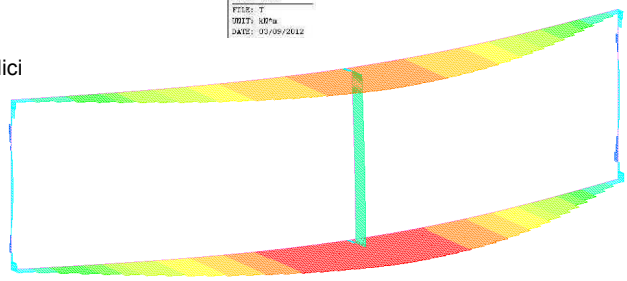
Tensioni σ_{yy} della lamiera



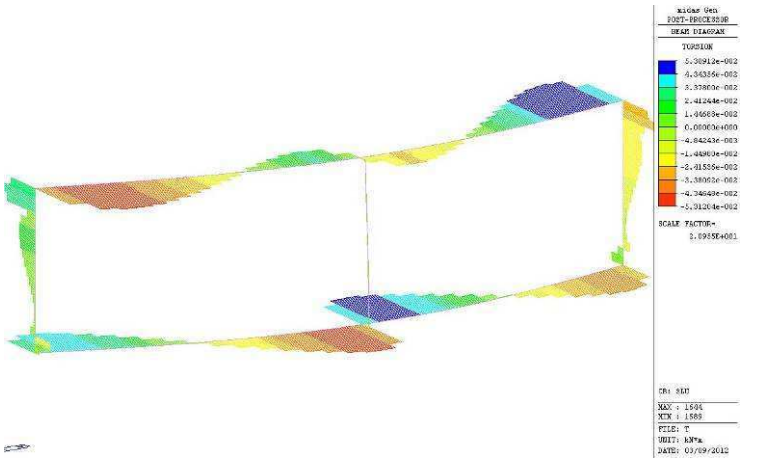
Tensioni σ_{xx} della lamiera



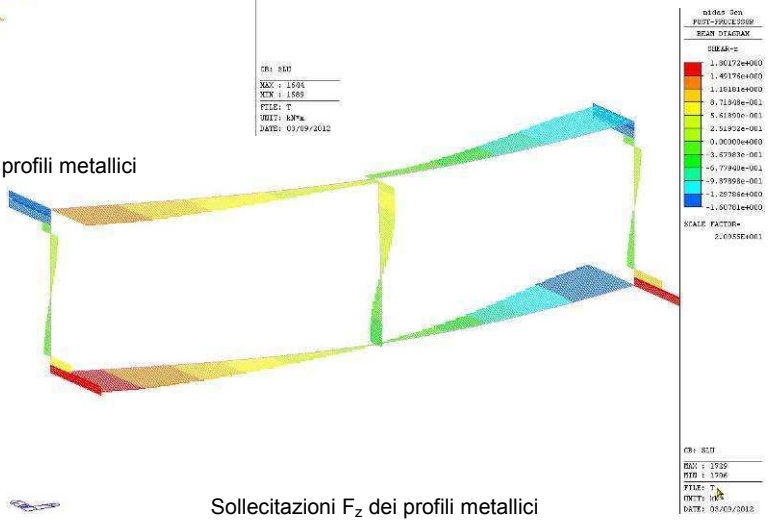
Sollecitazioni M_y dei profili metallici



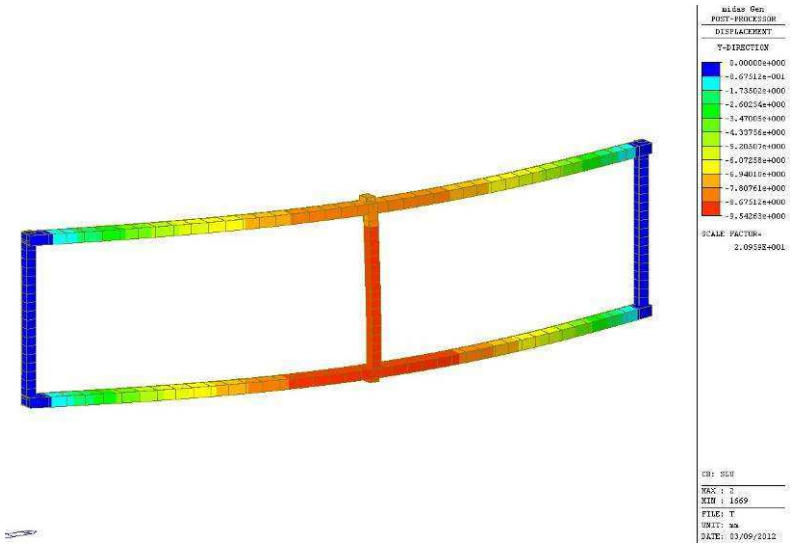
Sollecitazioni F_x (sforzi normali) dei profili metallici



Sollecitazioni M_x (torsione) dei profili metallici

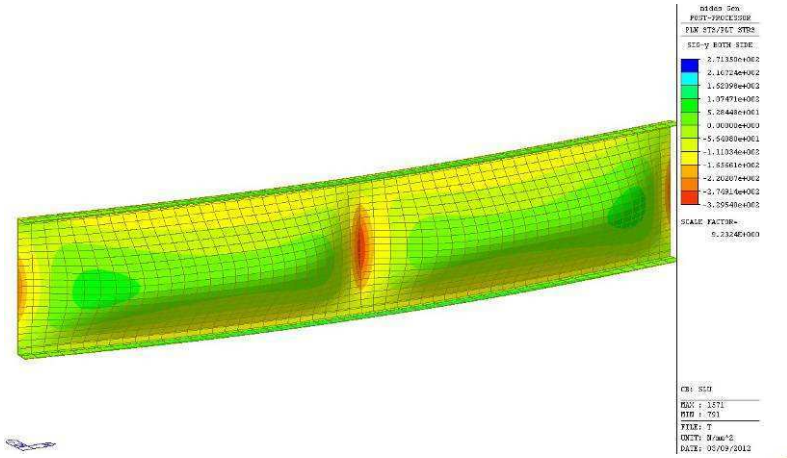


Sollecitazioni F_z dei profili metallici

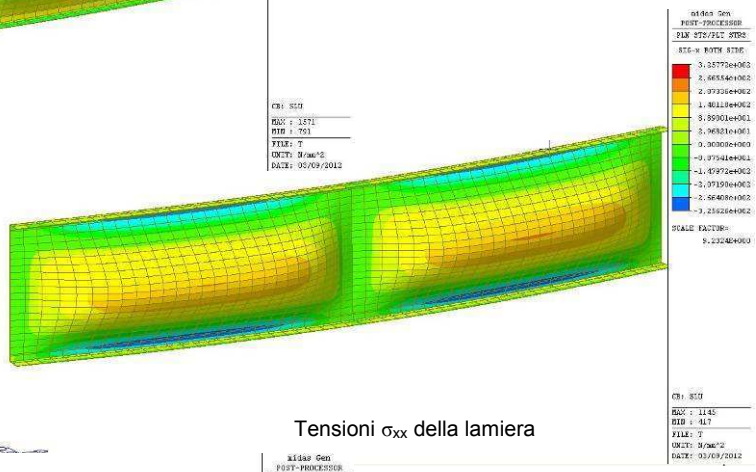


Deformata della struttura principale con spostamenti Dy

6.6. PARATOIA T.5-2M (50+50)x270



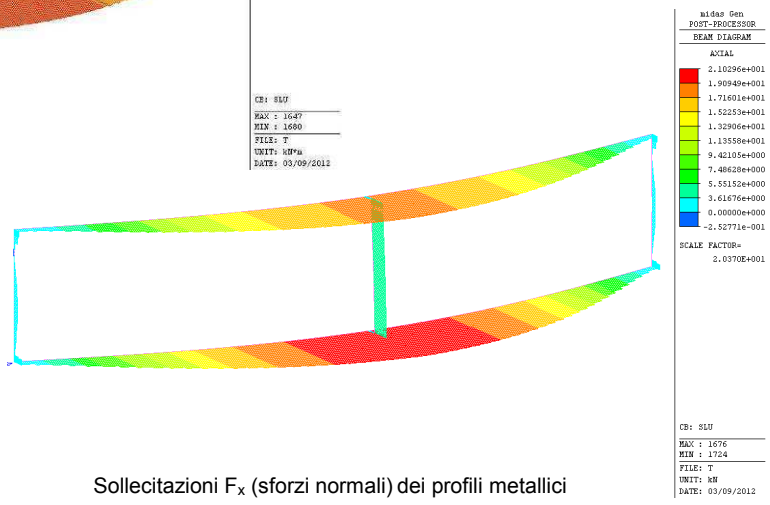
Tensioni σ_{yy} della lamiera



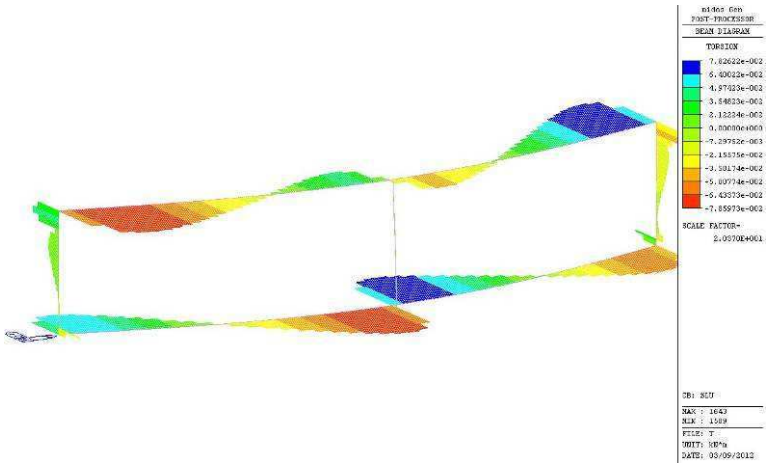
Tensioni σ_{xx} della lamiera



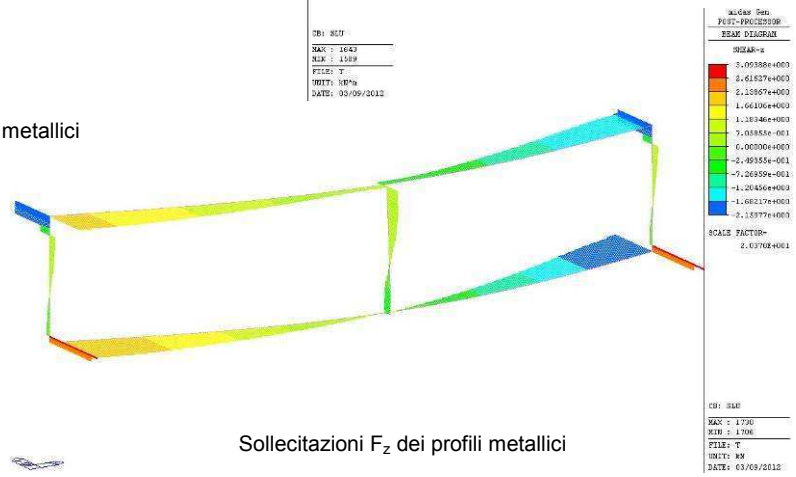
Sollecitazioni M_y dei profili metallici



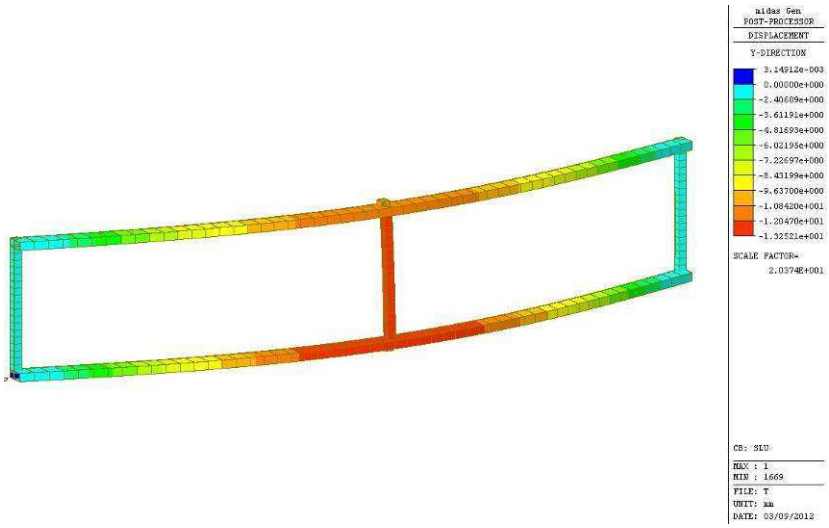
Sollecitazioni F_x (sforzi normali) dei profili metallici



Sollecitazioni M_x (torsione) dei profili metallici



Sollecitazioni F_z dei profili metallici



Deformata della struttura principale con spostamenti Dy

6.7. SCHEMA RIASSUNTIVO DELLE SOLLECITAZIONI E TENSIONI

Si riporta di seguito uno schema riassuntivo delle sollecitazioni e delle tensioni massime sugli elementi principali dei vari tipi di paratoie (i valori massimi sono stati evidenziati in grassetto).

PARATOIA	ELEMENTI	PROFILO	SOLLECITAZIONI	
T.1 100x100	Tubi orizzontali	30x30x2	$M_{x,Ed}$=0,02 kNm	$N_{x,Ed}$=12,15 kN
			$M_{y,Ed}$=0,21 kNm	$V_{y,Ed}$=±0,89 kN
			$M_{z,Ed}$=0,04 kNm	$V_{z,Ed}$=±0,98 kN
			freccia f_y= 2,5 mm	=1/400 L
	Tubi verticali	30x30x2	**$M_{x,Ed}$=0,07 kNm**	$N_{x,Ed}$=4,02 kN
			$M_{y,Ed}$=0,16 kNm	$V_{y,Ed}$=2,24 kN
			$M_{z,Ed}$=0,04 kNm	$V_{z,Ed}$=3,33 kN
			freccia f_y= 4,5 mm	=1/222 L
	Lamiera	sp=1,5mm	σ_x≈±323,3 MPa	σ_y≈±297,4 MPa
T.1 75x140	Tubi orizzontali	30x30x2	$M_{x,Ed}$=±0,03 kNm	**$N_{x,Ed}$=13,73 kN**
			$M_{y,Ed}$=0,20 kNm	$V_{y,Ed}$=0,61 kN
			$M_{z,Ed}$=0,04 kNm	$V_{z,Ed}$=0,92 kN
			freccia f_y= 6,7 mm	=1/209 L
	Tubi verticali	30x30x2	$M_{x,Ed}$=0,05 kNm	$N_{x,Ed}$=2,59 kN
			$M_{y,Ed}$=0,10 kNm	$V_{y,Ed}$=1,90 kN
			$M_{z,Ed}$=0,05 kNm	$V_{z,Ed}$=1,37 kN
	Lamiera	sp=1,5mm	σ_x≈±296,2 MPa	σ_y≈±270,1 MPa
T.1 50x180	Tubi orizzontali	30x30x2	$M_{x,Ed}$=0,02 kNm	$N_{x,Ed}$=9,04 kN
			$M_{y,Ed}$=0,13 kNm	$V_{y,Ed}$=0,32 kN
			$M_{z,Ed}$=0,02 kNm	$V_{z,Ed}$=0,59 kN
			freccia f_y= 7,8 mm	=1/231 L
	Tubi verticali	30x30x2	$M_{x,Ed}$=0,03 kNm	$N_{x,Ed}$=1,06 kN
			$M_{y,Ed}$=0,04 kNm	$V_{y,Ed}$=0,79 kN
			$M_{z,Ed}$=0,03 kNm	$V_{z,Ed}$=0,67 kN
	Lamiera	sp=1,5mm	σ_x≈±113,6 MPa	σ_y≈-114,3 MPa
T.2 75x160	Tubi orizzontali	30x30x2	$M_{x,Ed}$=0,05 kNm	$N_{x,Ed}$=12,03 kN
			$M_{y,Ed}$=0,17 kNm	$V_{y,Ed}$=0,48 kN
			$M_{z,Ed}$=0,03 kNm	$V_{z,Ed}$=0,82 kN
			freccia f_y=8,1 mm	1/197 L
	Tubi verticali	30x30x2	$M_{x,Ed}$=0,05 kNm	$N_{x,Ed}$=2,26 kN
			$M_{y,Ed}$=0,07 kNm	$V_{y,Ed}$=2,25 kN
			$M_{z,Ed}$=0,03 kNm	$V_{z,Ed}$=2,12 kN
	Lamiera	sp=1,5mm	σ_x=-121,5 MPa	σ_y=-137,5 MPa

T.3-2M (50+50)x200	Tubi orizzontali	50x30x2	**$M_{x,Ed}$=0,05 kNm**	$N_{x,Ed}$=17,29 kN
			$M_{y,Ed}$=0,44 kNm	$V_{y,Ed}$=0,76 kN
			$M_{z,Ed}$=0,05 kNm	**$V_{z,Ed}$=1,61 kN**
			freccia f_y=9,5 mm	=1/210 L
	Tubi verticali	30x30x2	$M_{x,Ed}$=0,03 kNm	$N_{x,Ed}$=3,29 kN
			$M_{y,Ed}$=0,06 kNm	$V_{y,Ed}$=2,07 kN
			$M_{z,Ed}$=0,05 kNm	$V_{z,Ed}$=1,80 kN
	Lamiera	sp=1,5mm	**$\sigma_x \approx \pm$327,3 MPa**	σ_y=-321,2 MPa
T.4 75x230	Tubi orizzontali	50x30x2	**$M_{x,Ed}$=0,05 kNm**	**$N_{x,Ed}$=19,25 kN**
			$M_{y,Ed}$=0,44 kNm	**$V_{y,Ed}$=0,78 kN**
			$M_{z,Ed}$=0,05 kNm	$V_{z,Ed}$=1,28 kN
			freccia f_y=11,9 mm	=1/193 L
		30x30x2	$M_{x,Ed}$=0,03 kNm	$N_{x,Ed}$=6,79 kN
			$M_{y,Ed}$=0,12 kNm	$V_{y,Ed}$=0,51 kN
			$M_{z,Ed}$=0,03 kNm	$V_{z,Ed}$=0,73 kN
	Tubi verticali	30x30x2	**$M_{x,Ed}$=0,07 kNm**	$N_{x,Ed}$=4,95 kN
			$M_{y,Ed}$=0,18 kNm	**$V_{y,Ed}$=4,94 kNm**
			$M_{z,Ed}$=0,16 kNm	$V_{z,Ed}$=2,06 kN
	Lamiera	sp=1,5mm	σ_x=-129,5 MPa	σ_y=+174,6 MPa
T.5-2M (50+50)x270	Tubi orizzontali	70x30x2	**$M_{x,Ed}$=0,08 kNm**	**$N_{x,Ed}$=21,03 kN**
			$M_{y,Ed}$=0,76 kNm	**$V_{y,Ed}$=1,01 kN**
			$M_{z,Ed}$=0,06 kNm	**$V_{z,Ed}$=2,16 kN**
			freccia f_y=13 mm	=1/208 L
	Tubi verticali	30x30x2	$M_{x,Ed}$=0,04 kNm	$N_{x,Ed}$=4,40 kN
			$M_{y,Ed}$=0,07 kNm	$V_{y,Ed}$=2,54 kN
			$M_{z,Ed}$=0,17 kNm	**$V_{z,Ed}$=3,09 kN**
	Lamiera	sp=1,5mm	$\sigma_x \approx \pm$325,8 MPa	**σ_y=-329,5 MPa**
T.3 50x290	Tubi orizzontali	50x30x2	**$M_{x,Ed}$=0,05 kNm**	$N_{x,Ed}$=13,19 kN
			$M_{y,Ed}$=0,31 kNm	$V_{y,Ed}$=0,52 kN
			$M_{z,Ed}$=0,03 kNm	$V_{z,Ed}$=0,94 kN
			freccia f_y=14,6 mm	=1/199 L
	Tubi verticali	30x30x2	$M_{x,Ed}$=0,03 kNm	$N_{x,Ed}$=1,72 kN
			$M_{y,Ed}$=0,07 kNm	$V_{y,Ed}$=1,72 kN
			$M_{z,Ed}$=0,11 kNm	**$V_{z,Ed}$=1,05 kN**
	Lamiera	sp=1,5mm	$\sigma_x \approx$+117,6 MPa	σ_y=-127,9 MPa
T.5 50x350	Tubi orizzontali	70x30x2	$M_{x,Ed}$=0,06 kNm	$N_{x,Ed}$=13,31 kN
			$M_{y,Ed}$=0,45 kNm	$V_{y,Ed}$=0,56 kN
			$M_{z,Ed}$=0,04 kNm	$V_{z,Ed}$=1,13 kN
			freccia f_y=14,6 mm	=1/240 L
	Tubi verticali	30x30x2	$M_{x,Ed}$=0,03 kNm	$N_{x,Ed}$=2,03 kN
			$M_{y,Ed}$=0,08 kNm	$V_{y,Ed}$=2,03 kN
			$M_{z,Ed}$=0,13 kNm	**$V_{z,Ed}$=1,28 kN**
	Lamiera	sp=1,5mm	$\sigma_x \approx \pm$118,8 MPa	σ_y=-129,2 MPa

7. VERIFICHE

Si riportano di seguito le principali verifiche degli elementi strutturali delle varie paratoie. Si calcolano dapprima le sollecitazioni resistenti degli elementi portanti per i singoli stati di sollecitazione e successivamente si riportano le verifiche di specifici elementi soggetti a combinazioni di sollecitazioni più gravose.
Ai fini del calcolo si ricorda che i profili in acciaio sono del tipo S235 con sezione di tipo 1, mentre le lamiera sono di acciaio tipo S355.

7.1. TUBI 30x30x2

Caratteristiche geometriche:

$A= 2,14\ cm^2$ $J= 2,7\ cm^4$
$i= 1,12\ cm$ $W_{el}= 1,8\ cm^3$ $W_{pl}= 2,2\ cm^3$

7.1.1. Verifiche

Sollecitazione resistente a flessione:

$$M_{Rd}= W_{pl} x\ f_{yk}/\gamma_{M0}= 2,2x\ 235/\ 1,05= 0,49\ kNm > 0,21\ kNm$$

Sollecitazioni resistenti a taglio:

$$V_{Rd}= A_v x\ f_{yk}/(\sqrt{3}x\ \gamma_{M0})= 1,07x\ 235/(\sqrt{3}x\ 1,05)= 13,83\ kN > 4,94\ kN$$
$$A_v= Ax\ h/(b+h)= 2,14x\ 3/(3+3)= 1,07\ cm^2$$

Sollecitazioni resistenti ad azioni assiali:

$$N_{Rd}= Ax\ f_{yk}/\ \gamma_{M0}= 2,14\ 235/\ 1,05= 47,9\ kN > 13,73\ kN$$

7.2. TUBI 50x30x2

Caratteristiche geometriche:

$A= 2,94 cm^2$ $J_z=9,51\ cm^4$ $J_y=4,28\ cm^4$
$W_{el,z}=3,8\ cm^3$ $W_{el,y}=2,85\ cm^3$
$W_{pl,z}=4,74\ cm^3$ $W_{el,y}=3,32\ cm^3$
$i_z=1,8\ cm$ $i_y=2,21\ cm$

7.2.1. Verifiche

Sollecitazione resistente a flessione:

$$M_{Rd,z}= W_{pl,y} x\ f_{yk}/\gamma_{M0}= 4,74x\ 235/\ 1,05= 1,06\ kNm > 0,44\ kNm$$
$$M_{Rd,y}= W_{pl,z} x\ f_{yk}/\gamma_{M0}= 3,32x\ 235/\ 1,05= 0,74\ kNm > 0,05\ kNm$$

Sollecitazioni resistenti a taglio:

$$V_{Rd,z}= A_{v,y} x\ f_{yk}/(\sqrt{3}x\ \gamma_{M0})= 1,84x\ 235/(\sqrt{3}x\ 1,05)= 23,78\ kN > 1,61\ kN$$
$$V_{Rd,y}= A_{v,z} x\ f_{yk}/(\sqrt{3}x\ \gamma_{M0})= 1,10x\ 235/(\sqrt{3}x\ 1,05)= 14,21\ kN > 0,78\ kN$$
$$A_{v,z}= Ax\ h/(b+h)= 2,94x\ 5/(5+3)= 1,84\ cm^2$$
$$A_{v,y}= Ax\ b/(b+h)= 2,94x\ 3/(5+3)= 1,10\ cm^2$$

Sollecitazioni resistenti ad azioni assiali:

N_{Rd}= Ax f_{yk}/ γ_{M0}= 2,94x 235/ 1,05= 65,8 kN > 19,25 kN

7.3. TUBI 70x30x2

Caratteristiche geometriche:

A= 3,74cm^2 J_y=22,2 cm^4 J_z=5,86 cm^4
$W_{el,y}$=6,35 cm^3 $W_{el,z}$=3,91 cm^3
$W_{pl,y}$=8,08 cm^3 $W_{el,z}$=4,45 cm^3
i_y=2,44 cm i_z=1,25 cm

7.3.1. Verifiche

Sollecitazione resistente a flessione:

$M_{Rd,y}$= $W_{pl,y}$x f_{yk}/γ_{M0}= 8,08x 235/ 1,05= 1,81 kNm > 0,76 kNm
$M_{Rd,z}$= $W_{pl,z}$x f_{yk}/γ_{M0}= 4,45x 235/ 1,05= 0,996 kNm > 0,06 kNm

Sollecitazioni resistenti a taglio:

$V_{Rd,z}$= $A_{v,z}$x $f_{yk}/(\sqrt{3}x\ \gamma_{M0})$= 2,62x 235/(√3x 1,05)= 33,86 kN > 2,16 kN
$V_{Rd,y}$= $A_{v,y}$x $f_{yk}/(\sqrt{3}x\ \gamma_{M0})$= 1,12x 235/(√3x 1,05)= 14,47 kN > 1,01 kN
$A_{v,z}$= Ax h/(b+h)= 3,74x 7/(7+3)= 2,62 cm^2
$A_{v,y}$= Ax b/(b+h)= 3,74x 3/(7+3)= 1,12 cm^2

Sollecitazioni resistenti ad azioni assiali:

N_{Rd}= Ax f_{yk}/ γ_{M0}= 5,41x 235/ 1,05= 121,08 kN > 21,03 kN

7.4. LAMIERA SPESSORE 1,5 mm

Per la lamiera delle paratie si considera la massima tensione prevista allo stato limite ultimo per l'acciaio tipo S355 con il rispettivo coefficiente γ_{M0}=1,05, la tensione massima risulta:

σ= f_{yk}/ γ_{M0}= 355/1,05= 338,1 MPa> 329,5 MPa

La verifica tensionale risulta soddisfatta in campo elastico.

7.5. SOLLECITAZIONI COMPOSTE E INSTABILITA' DEI PROFILI TUBOLARI

Come già riportato precedentemente (paragrafi 7.1, 7.2 e 7.3) i profili utilizzati che costituiscono la struttura portante delle paratoie risultano ampiamente verificati in considerazione dei singoli parametri delle sollecitazioni. Di seguito si riportano alcune verifiche che considerano le condizioni più sfavorevoli per sollecitazioni composte.

7.5.1. Flessione e taglio

La simultanea presenza delle sollecitazioni massime di taglio e flessione non determinano particolari restrizioni risultando sempre verificata la disuguaglianza V_{Rd}> V_{Ed}x2. Risulta quindi trascurabile l'influenza del taglio sulla resistenza a

flessione.

7.5.2. Presso-flessione, tenso-flessione biassiale e instabilità

TUBO 30x30x2:
si considera il caso del tubo 30x30x2 della paratoia tipo T.1 75x140, soggetto alle seguenti sollecitazioni di tenso-flessione:

$M_{Ed,y}$= 0,21 kNm $M_{Ed,z}$= 0,02 kNm N_{Ed}= +13,73 kN

Le sollecitazione resistenti della sezione sono risultate:

$M_{Rd,y}$= 0,49 kNm $M_{Rd,z}$= 0,49 kNm N_{Rd}= 47,9 kN

Posto:

$n= N_{Ed}/N_{pl,Rd}$= 13,73/47,9= 0,29
$a=(A-2xbxt_f)/A$= (2,14-2x3x0,2)/2,14= 0,44<0,5

i momenti resistenti ridotti risultano quindi:

$M_{N,y,Rd}= M_{pl,y,Rd}\ (1-n)/\ (1-0,5a)$= 0,45 kNm > $M_{Ed,y}$
$M_{N,z,Rd}= M_{pl,z,Rd}$= 0,49 kNm > $M_{Ed,z}$

$(M_{Ed,y}/\ M_{N,y,Rd})^2+(\ M_{Ed,z}/\ M_{Rd,z})^{5n}$=0,23 <1

TUBO 50x30x2:
si considera il caso del tubo 50x30x2 della paratoia tipo T.4, soggetto alle seguenti sollecitazioni:

$M_{Ed,y}$= 0,44 kNm $M_{Ed,z}$= 0,03 kNm N_{Ed}= +19,25 kN

Le sollecitazione resistenti della sezione sono risultate:

$M_{Rd,y}$= 1,06 kNm $M_{Rd,z}$= 0,74 kNm N_{Rd}= 65,8 kN

Posto:

$n= N_{Ed}/N_{pl,Rd}$= 19,25/65,8= 0,29
$a=(A-2xbxt_f)/A$= (2,94-2x5x0,2)/2,94= 0,32< 0,5

i momenti resistenti ridotti risultano quindi:

$M_{N,z,Rd}= M_{pl,z,Rd}\ (1-n)/\ (1-0,5a)$= 0,62 kNm > $M_{Ed,z}$
$M_{N,y,Rd}= M_{pl,y,Rd}$= 1,06 kNm

$(M_{Ed,y}/\ M_{N,y,Rd})^2+(\ M_{Ed,z}/\ M_{Rd,z})^{5n}$=0,19 <1

Le verifiche sono ampiamente soddisfatte, ma occorre considerare che per le ipotesi precedentemente assunte non si è considerato il fattore moltiplicativo di combinazione par a 1,5 sulla spinta idrostatica.

L'ampio margine di soddisfacimento della verifica non rende comunque necessaria la verifica di instabilità che risulta certamente soddisfatta anche in considerazione che si è trascurato l'effetto irrigidente della lamiera da 1,5 mm di spessore.

7.6. DEFORMABILITA'

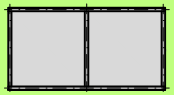
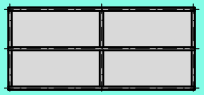
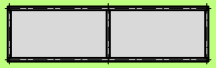
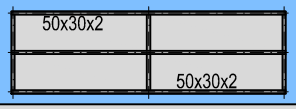
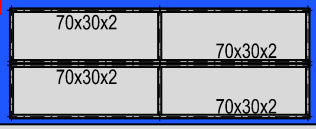
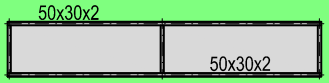
Si sono considerati nella progettazione della struttura delle paratoie anche gli spostamenti massimi orizzontali; tali deformate sono certamente importanti in quanto eccessivi spostamenti potrebbero inficiare il corretto funzionamento delle paratoie permettendo all'acqua di filtrare attraverso lo sbarramento.

A tal fine si è ritenuto opportuno limitare la deformata massima ad 1/200 della lunghezza dell'elemento, risultando tale limitazione la condizione vincolante per le lunghezze massime delle paratoie (vedi valori di freccia al paragrafo 6.7).

In fede

Venezia Marzo 2012

Ing. Andrea Marascalchi

H(cm) / L(cm)	H≤50 MODULO UNICO H≤50	H≤75 MODULO UNICO H≤75	H≤100 MODULO UNICO H≤100	H≤100 MODULO DOPPIO H≤50+50
L≤100	PESO MODULO= 12,1	16,3	T.1  20,5	
L≤140	16,0	T.1  21,4		18,4+18,4
L≤160	18,0	T.2  26,5		20,7+20,7
L≤180	T.1  19,9	32,5		23,0+23,0
L≤200	25,4	35,7		T.3-2M  25,4+25,4
L≤230	30,0	T.4  40,6		34,1+34,1
L≤270	33,5			T.5-2M  38,1+38,1
L≤290	T.3  35,8			
L≤350	T.5  48,7			

NOTE:

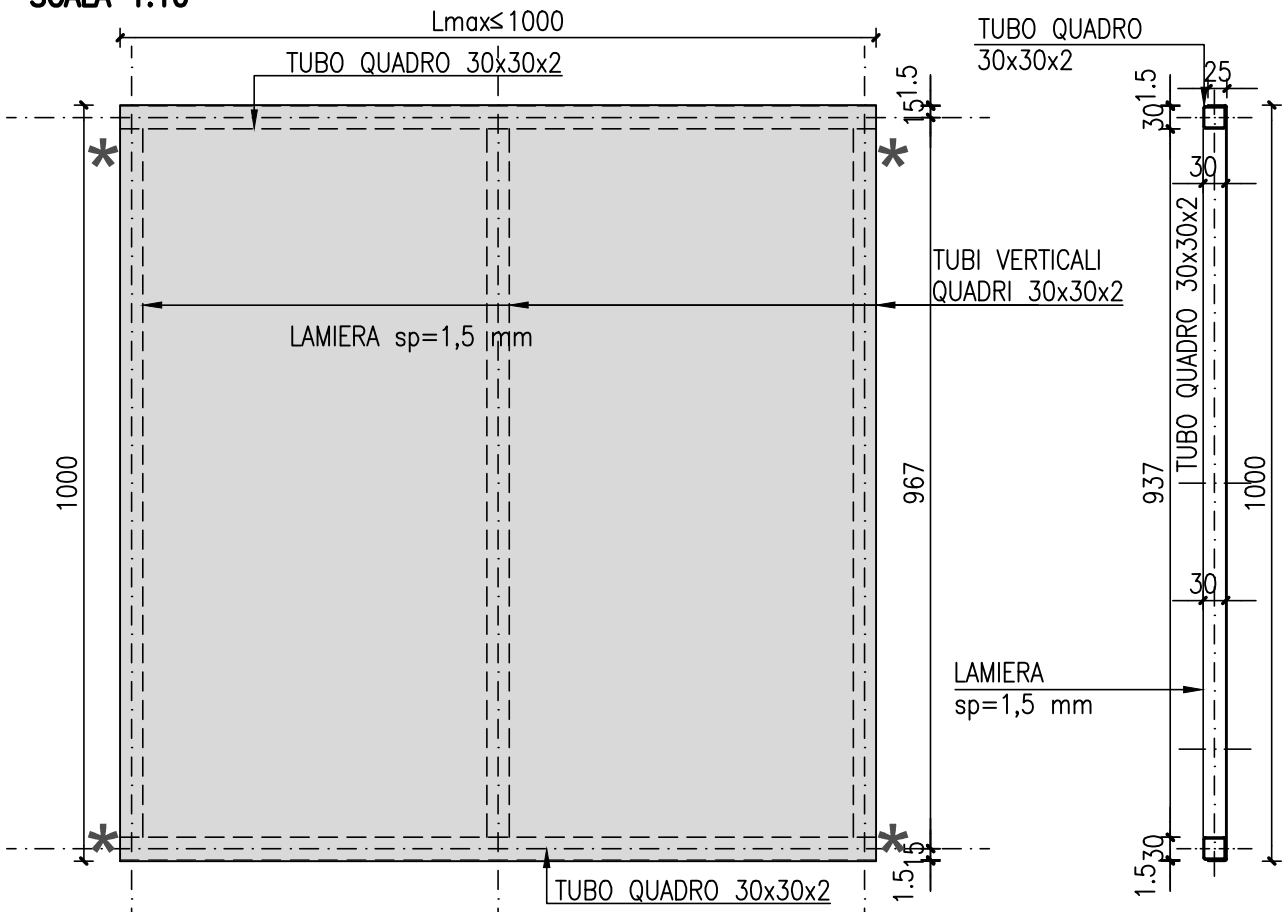
- I PROFILI TUBOLARI CHE COSTITUISCONO LA STRUTTURA DELLE PARATOIE, DOVE NON DIVERSAMENTE INDICATO, SONO TUBOLARI 30x30x2
- LA LAMIERA DI CHIUSURA HA SPESSORE PARI A 1,5mm
- IL PESO DI OGNI MODULO DI PARATOIA E' ESPRESSO IN kg E COMPRENDE LA CARPENTERIA METALLICA CON ESCLUSIONI DEI MECCANISMI, DEGLI ACCESSORI E DELLE GUIDE FISSE

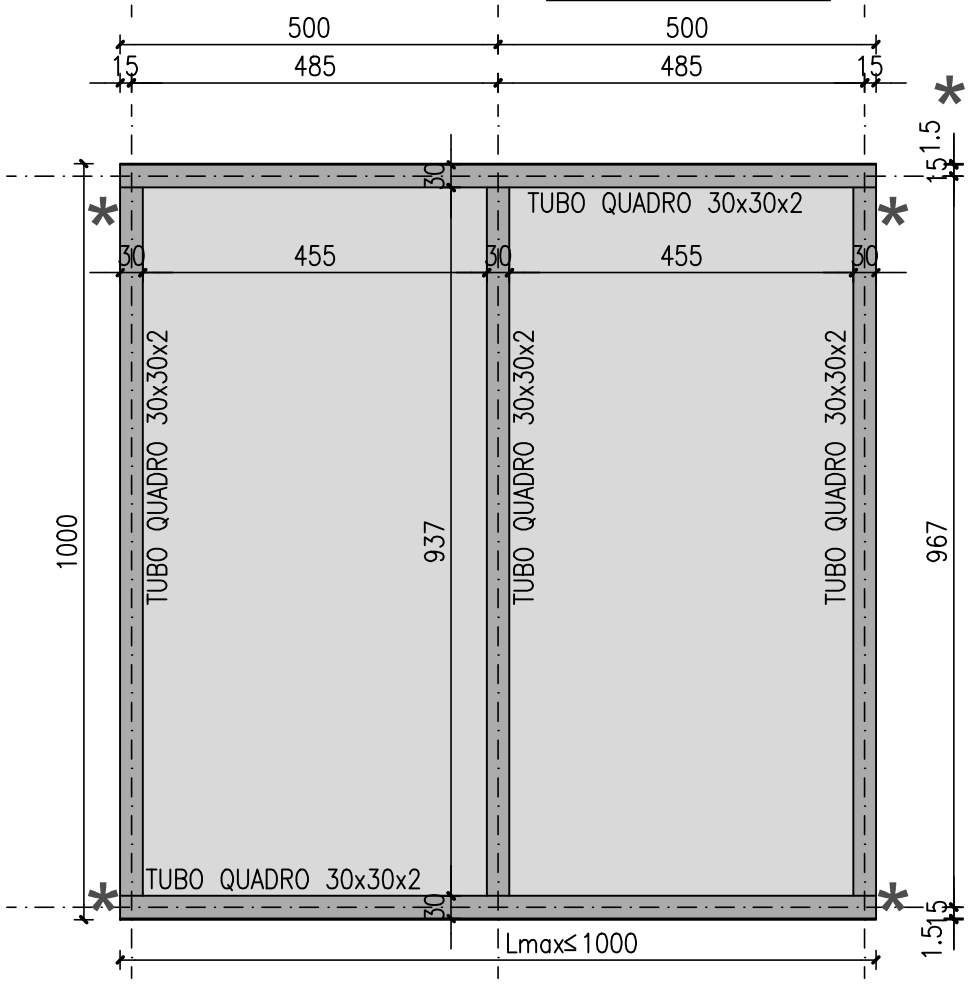
ettorebertoldini
costruzionimetalliche

PARATIE **AcquaLock**®

SCHEMA STRUTTURALE PARATOIA TIPO "T.1": 1000x1000
MODULO UNICO H=1000mm LARGHEZZA MASSIMA 1000mm
SCALA 1:10

ettorebertoldini
costruzionimetalliche



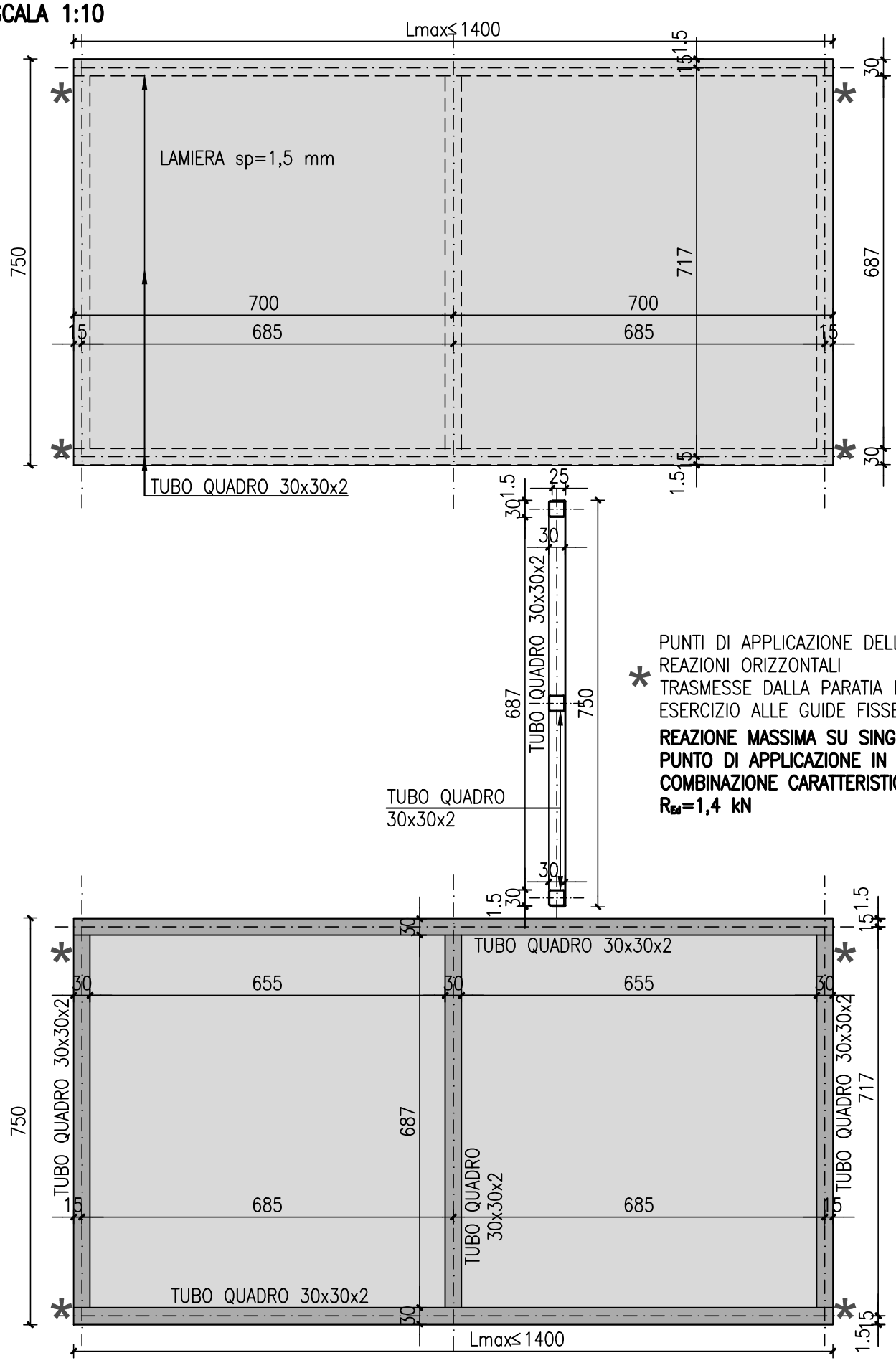


* PUNTI DI APPLICAZIONE DELLE REAZIONI ORIZZONTALI TRASMESSE DALLA PARATIA IN ESERCIZIO ALLE GUIDE FISSE

REAZIONE MASSIMA SU SINGOLO PUNTO DI APPLICAZIONE IN COMBINAZIONE CARATTERISTICA: R_{Ed}=1,7 kN

SCHEMA STRUTTURALE PARATOIA TIPO "T.1": 750x1400
MODULO UNICO H=750mm LARGHEZZA MASSIMA 1400mm
SCALA 1:10

ettorebertoldini
costruzionimetalliche

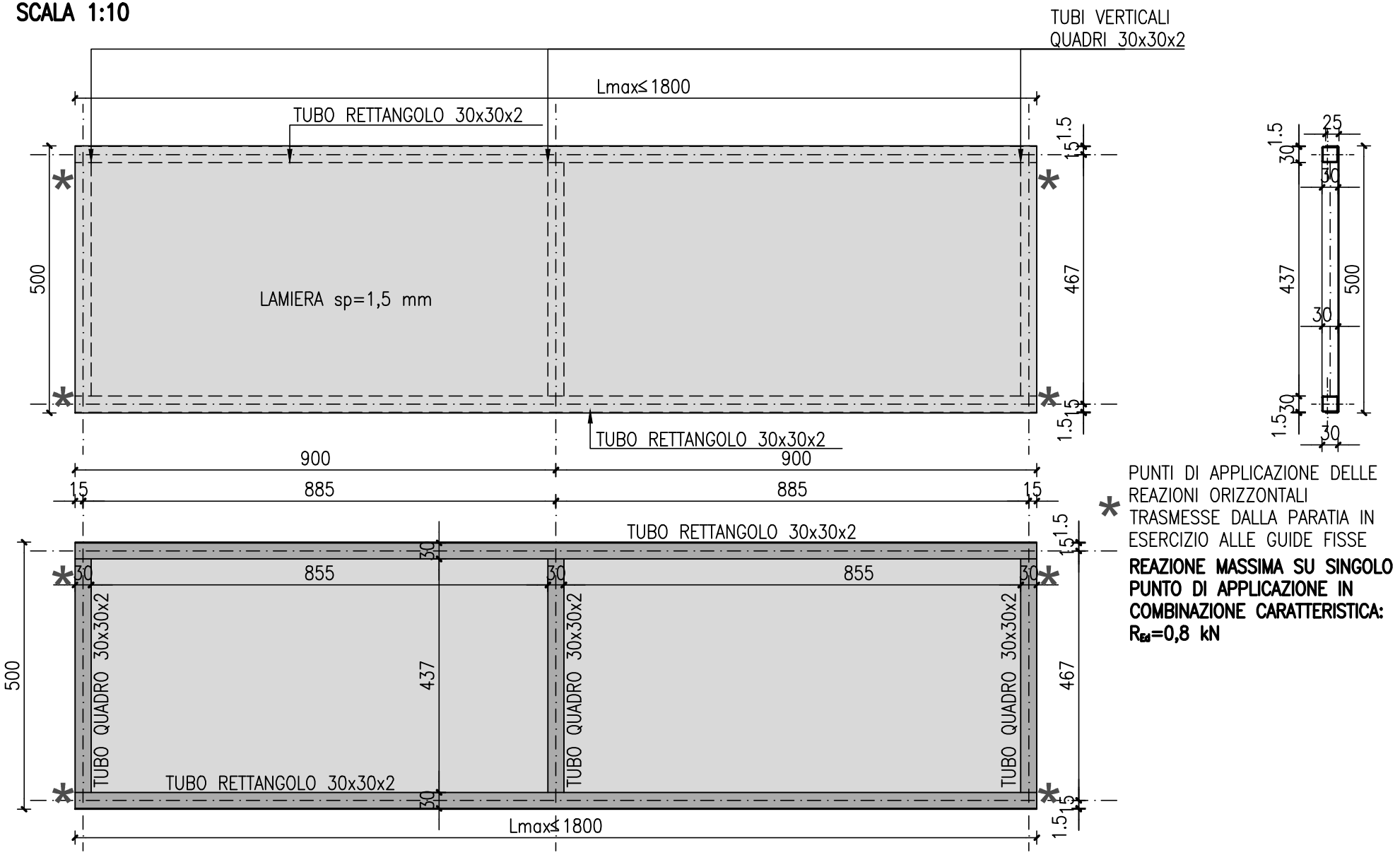


* PUNTI DI APPLICAZIONE DELLE REAZIONI ORIZZONTALI TRASMESSE DALLA PARATIA IN ESERCIZIO ALLE GUIDE FISSE

REAZIONE MASSIMA SU SINGOLO PUNTO DI APPLICAZIONE IN COMBINAZIONE CARATTERISTICA: R_{Ed}=1,4 kN

SCHEMA STRUTTURALE PARATOIA TIPO "T.1": 500x1800
MODULO UNICO H=500mm LARGHEZZA MASSIMA 1800mm
SCALA 1:10

ettorebertoldini
costruzionimetalliche

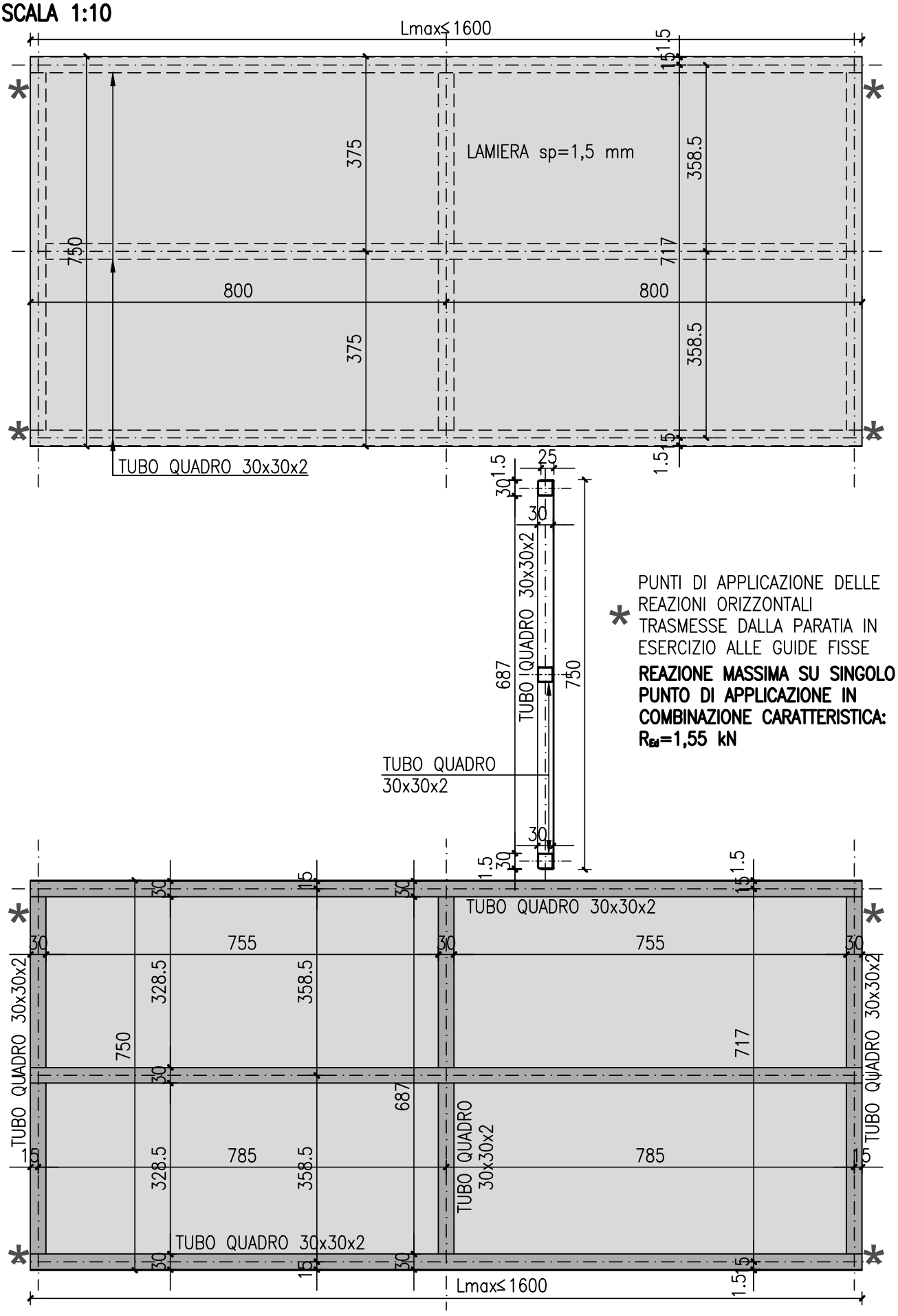


PUNTI DI APPLICAZIONE DELLE REAZIONI ORIZZONTALI TRASMESSE DALLA PARATIA IN ESERCIZIO ALLE GUIDE FISSE

REAZIONE MASSIMA SU SINGOLO PUNTO DI APPLICAZIONE IN COMBINAZIONE CARATTERISTICA: R_{Ed}=0,8 kN

SCHEMA STRUTTURALE PARATOIA TIPO "T.2": 750x1600
MODULO UNICO H=750mm LARGHEZZA MASSIMA 1600mm
SCALA 1:10

ettorebertoldini
costruzionimetalliche

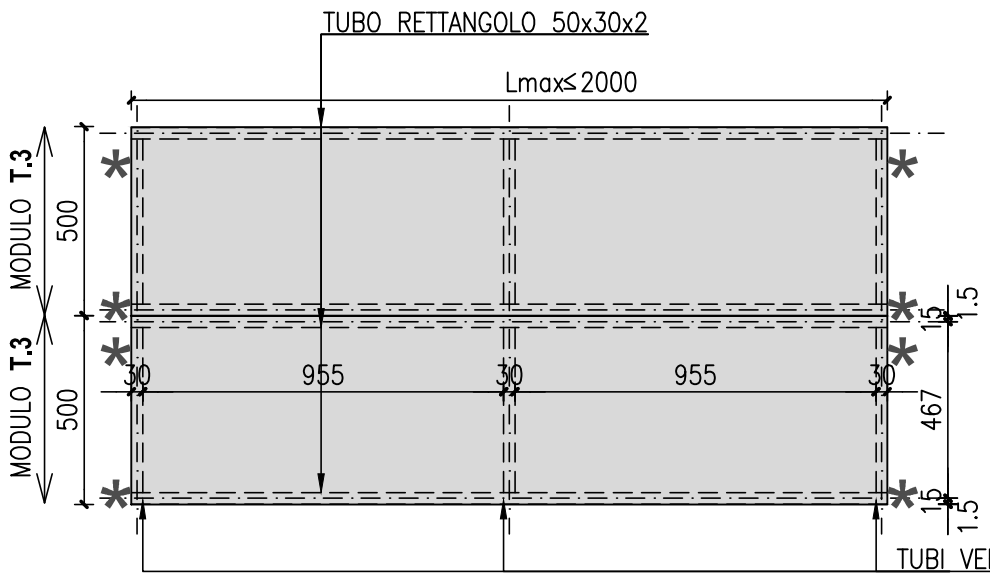


* PUNTI DI APPLICAZIONE DELLE REAZIONI ORIZZONTALI TRASMESSE DALLA PARATIA IN ESERCIZIO ALLE GUIDE FISSE

REAZIONE MASSIMA SU SINGOLO PUNTO DI APPLICAZIONE IN COMBINAZIONE CARATTERISTICA: R_{Ed}=1,55 kN

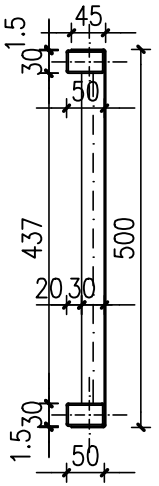
SCHEMA STRUTTURALE PARATOIA TIPO "T.3-2M": (500+500)x2000
COMPONIBILI A 2 MODULI H=500+500mm LARGHEZZA MASSIMA 2000mm
SCALA 1:10 1:20

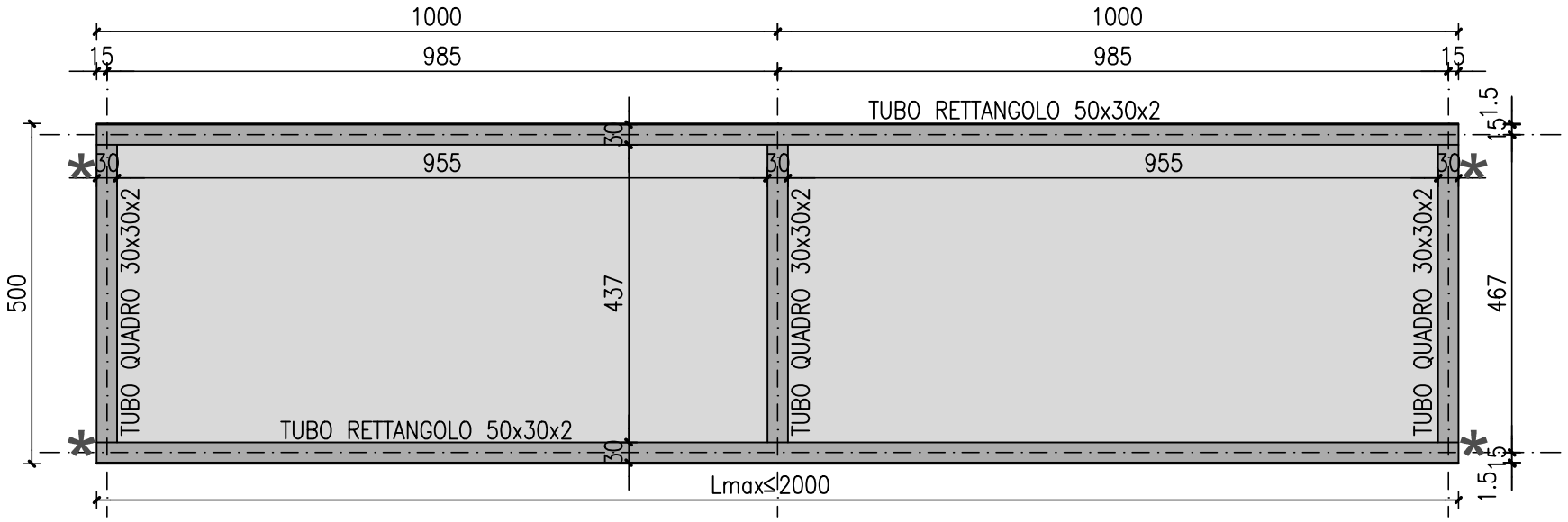
ettorebertoldini
costruzionimetalliche



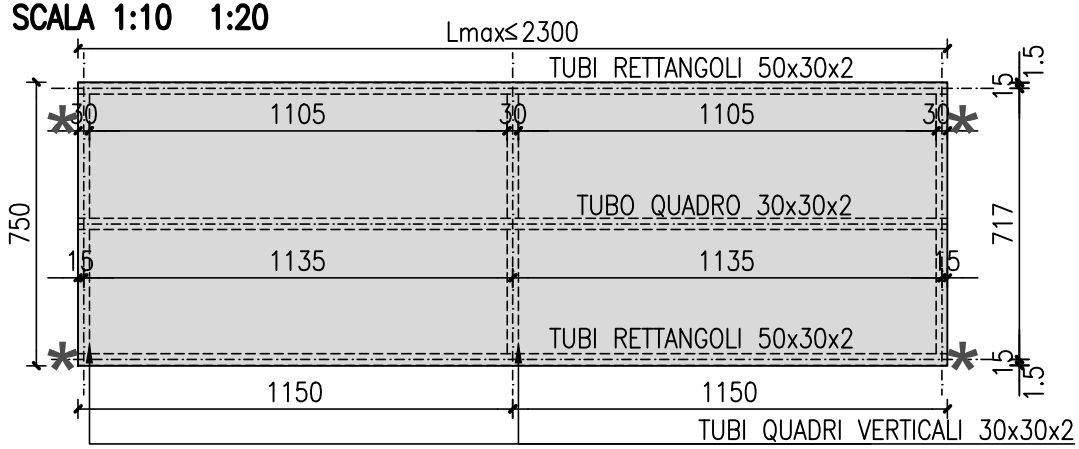
* PUNTI DI APPLICAZIONE DELLE REAZIONI ORIZZONTALI TRASMESSE DALLA PARATIA IN ESERCIZIO ALLE GUIDE FISSE

REAZIONE MASSIMA SU SINGOLO PUNTO DI APPLICAZIONE IN COMBINAZIONE CARATTERISTICA: R_{Ed}=2,1 kN



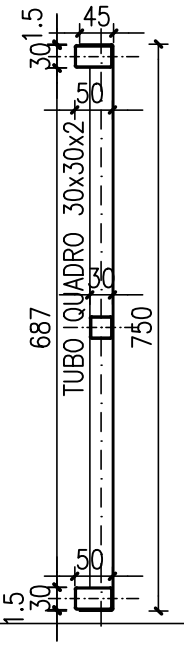


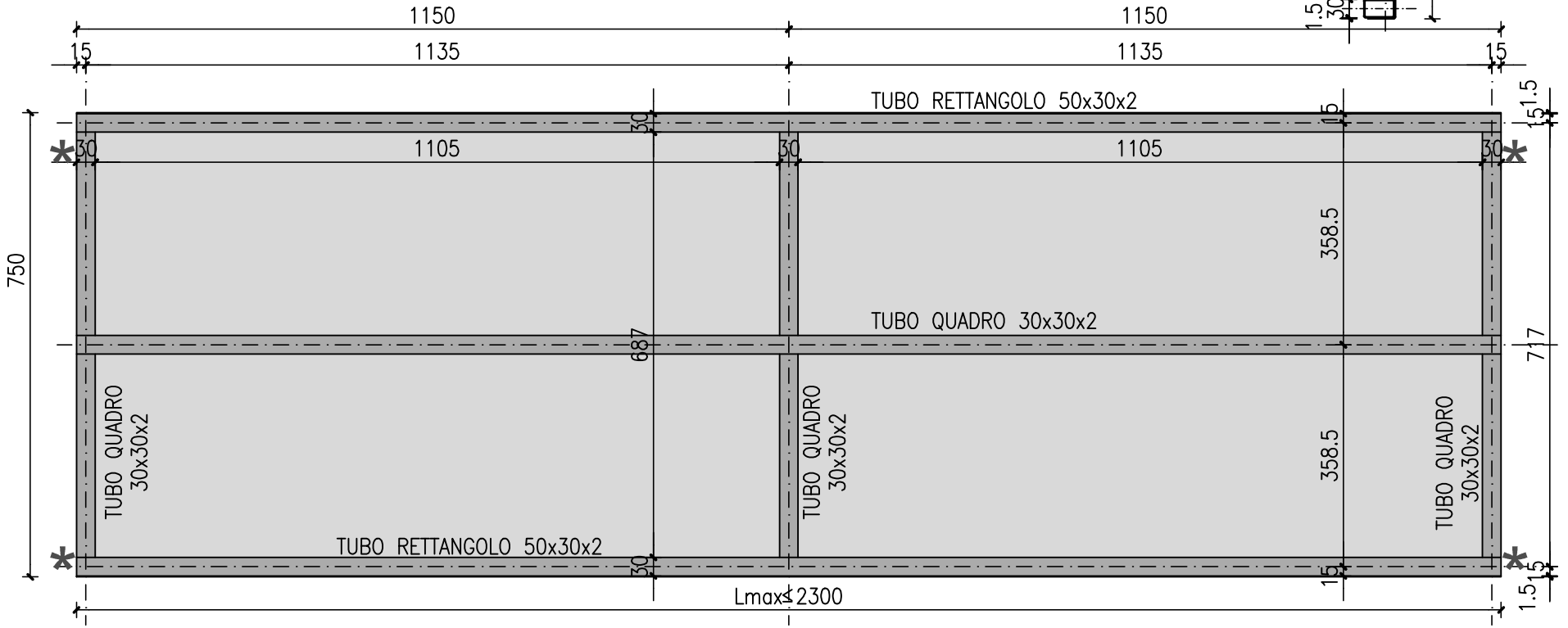
SCHEMA STRUTTURALE PARATOIA TIPO "T.4": 750x2300
MODULO UNICO H=750mm LARGHEZZA MASSIMA 2400mm
SCALA 1:10 1:20



* PUNTI DI APPLICAZIONE DELLE REAZIONI ORIZZONTALI TRASMESSE DALLA PARATIA IN ESERCIZIO ALLE GUIDE FISSE

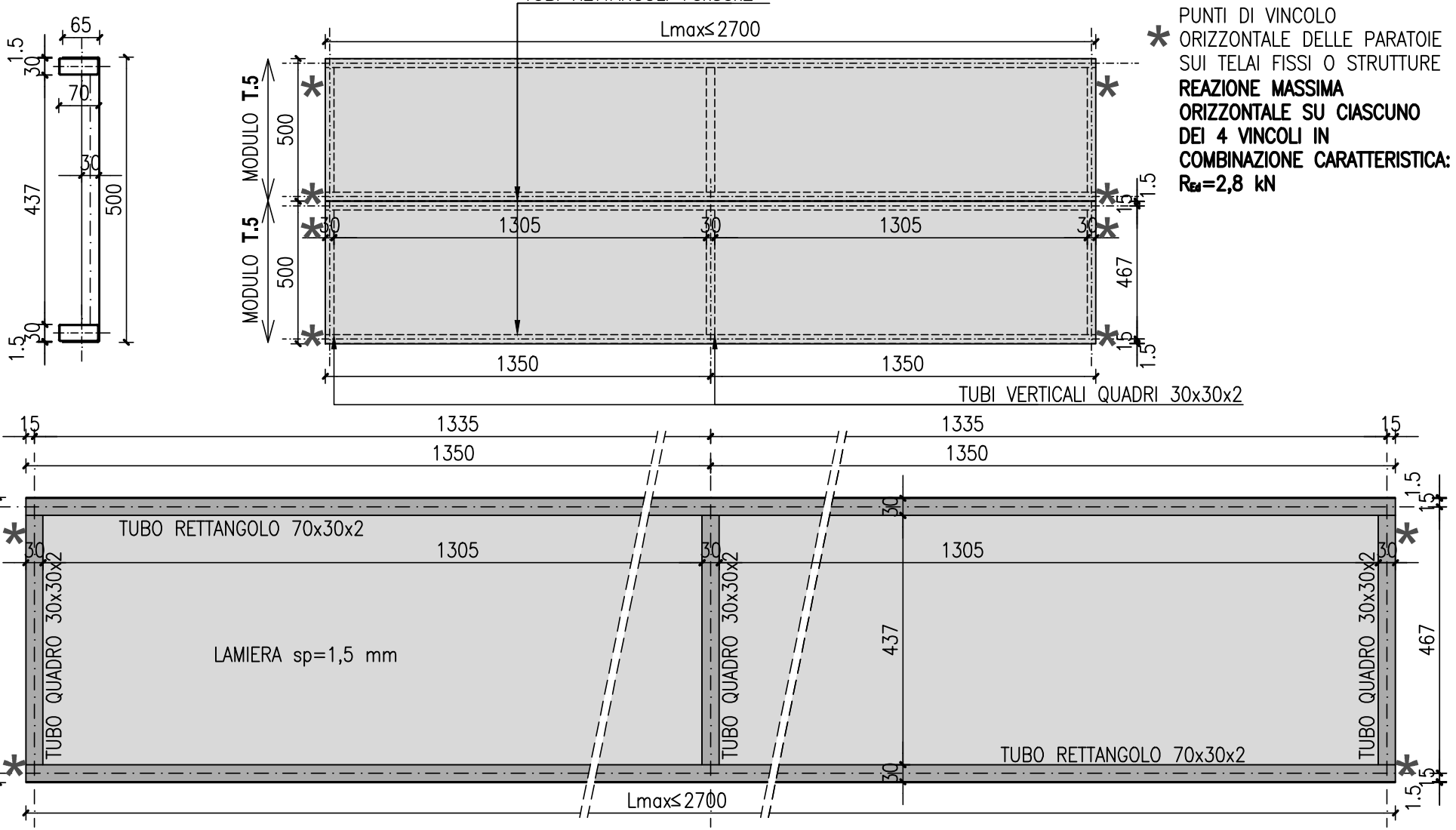
REAZIONE MASSIMA SU SINGOLO PUNTO DI APPLICAZIONE IN COMBINAZIONE CARATTERISTICA: R_{Ed}=2,2 kN





SCHEMA STRUTTURALE PARATOIA TIPO "T.5-2M": (500+500)x2700
COMPONIBILI A 2 MODULI H=500+500mm LARGHEZZA MASSIMA 2700mm
SCALA 1:10 1:20

ettorebertoldini
costruzionimetalliche

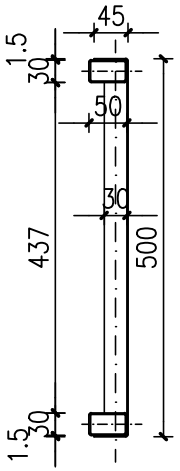


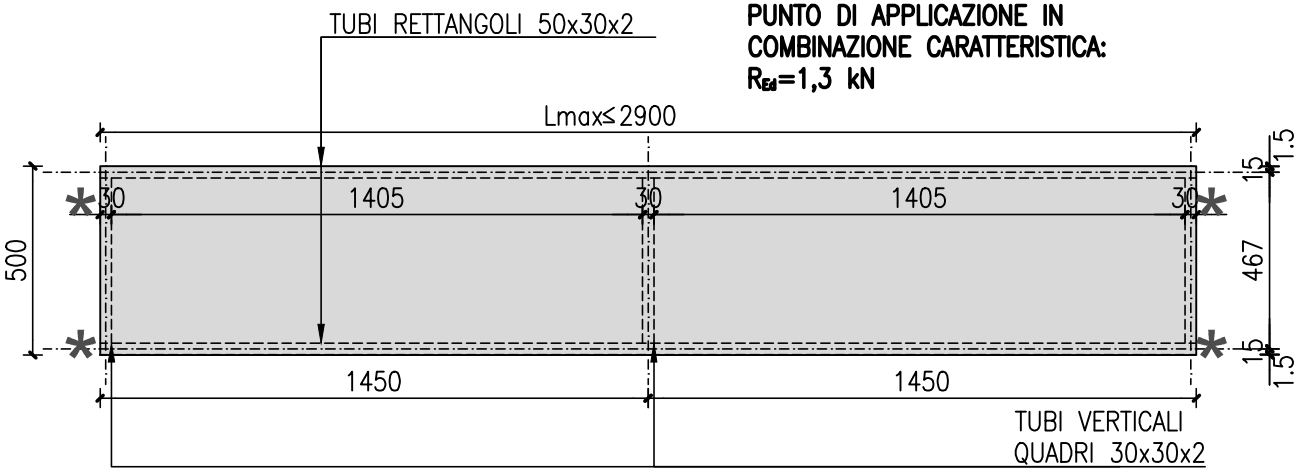
SCHEMA STRUTTURALE PARATOIA TIPO "T.3": 500x2900
MODULO UNICO H=500mm LARGHEZZA MASSIMA 2900mm
SCALA 1:10 1:20

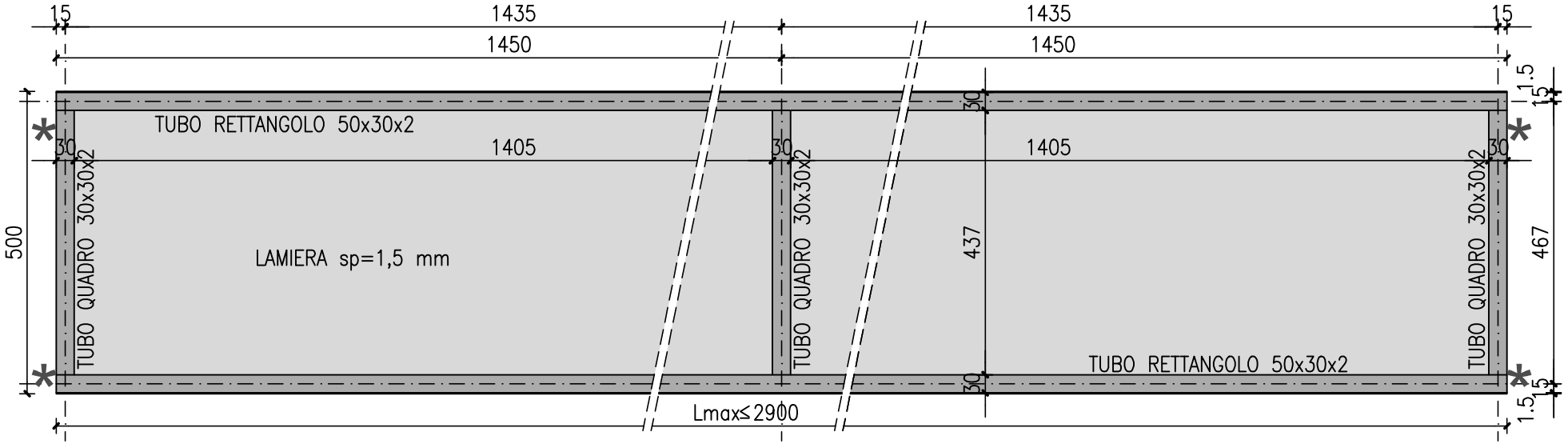
* PUNTI DI APPLICAZIONE DELLE REAZIONI ORIZZONTALI TRASMESSE DALLA PARATIA IN ESERCIZIO ALLE GUIDE FISSE

REAZIONE MASSIMA SU SINGOLO PUNTO DI APPLICAZIONE IN COMBINAZIONE CARATTERISTICA: R_{Ed}=1,3 kN

ettorebertoldini costruzionimetalliche





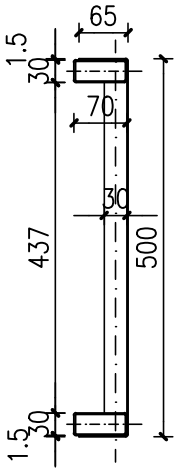


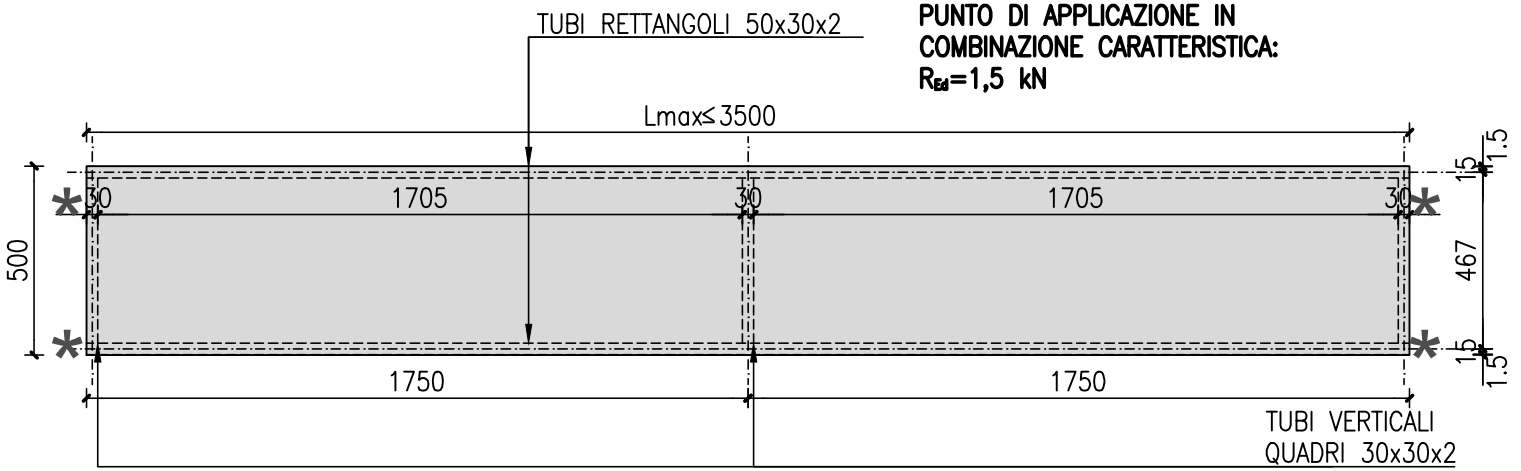
SCHEMA STRUTTURALE PARATOIA TIPO "T.5": 500x3500
MODULO UNICO H=500mm LARGHEZZA MASSIMA 3500mm
SCALA 1:10 1:20

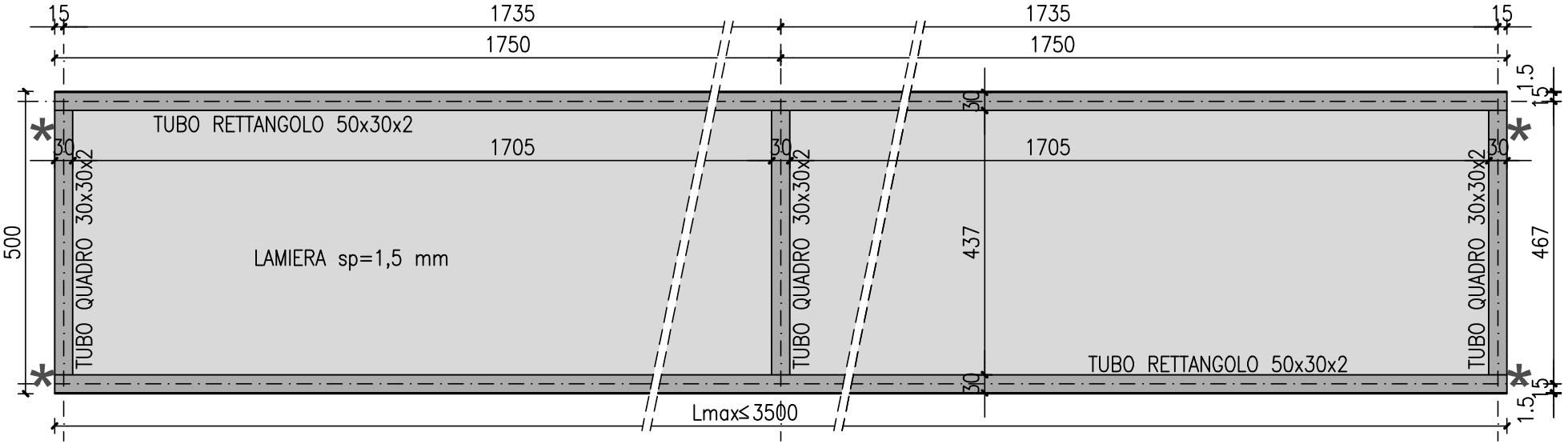
* PUNTI DI APPLICAZIONE DELLE REAZIONI ORIZZONTALI TRASMESSE DALLA PARATIA IN ESERCIZIO ALLE GUIDE FISSE

REAZIONE MASSIMA SU SINGOLO PUNTO DI APPLICAZIONE IN COMBINAZIONE CARATTERISTICA: R_{Ed}=1,5 kN

ettorebertoldini costruzionimetalliche



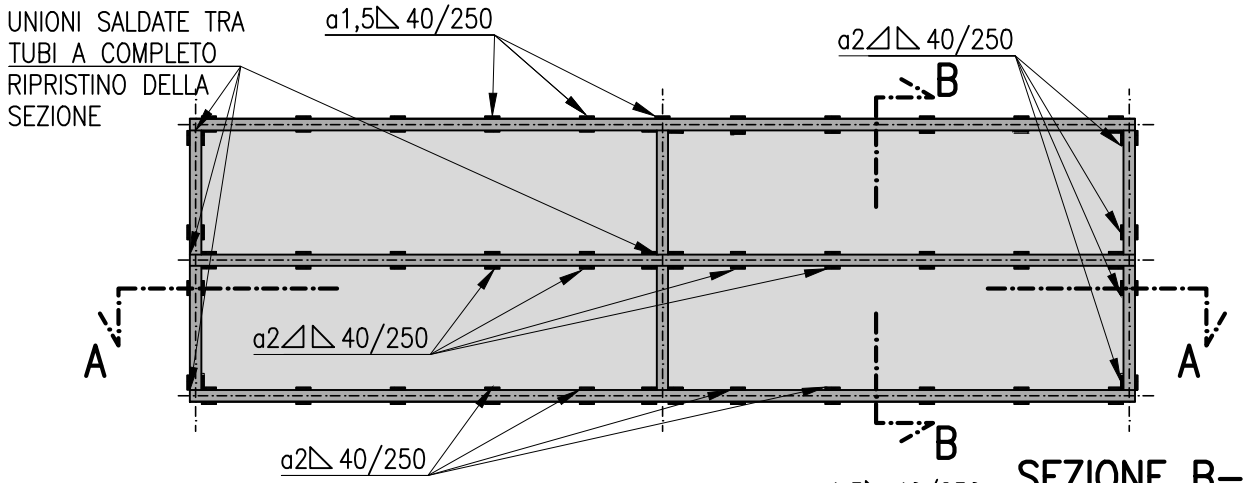




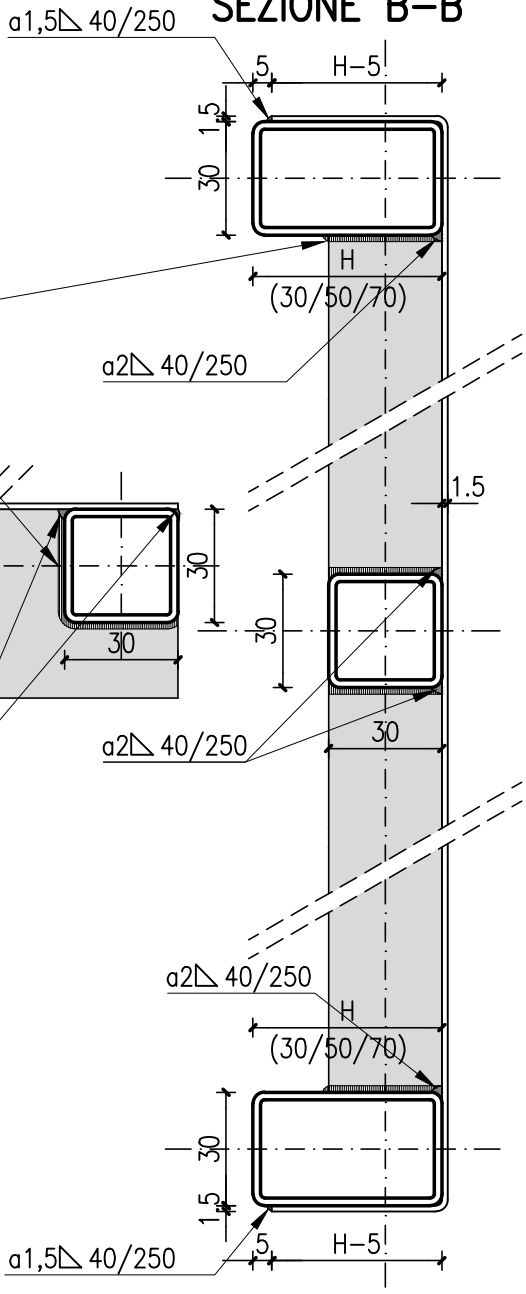
SCHEMA PARTICOLARI TIPO DELLE PARATOIE

SCALA 1:20 1:2

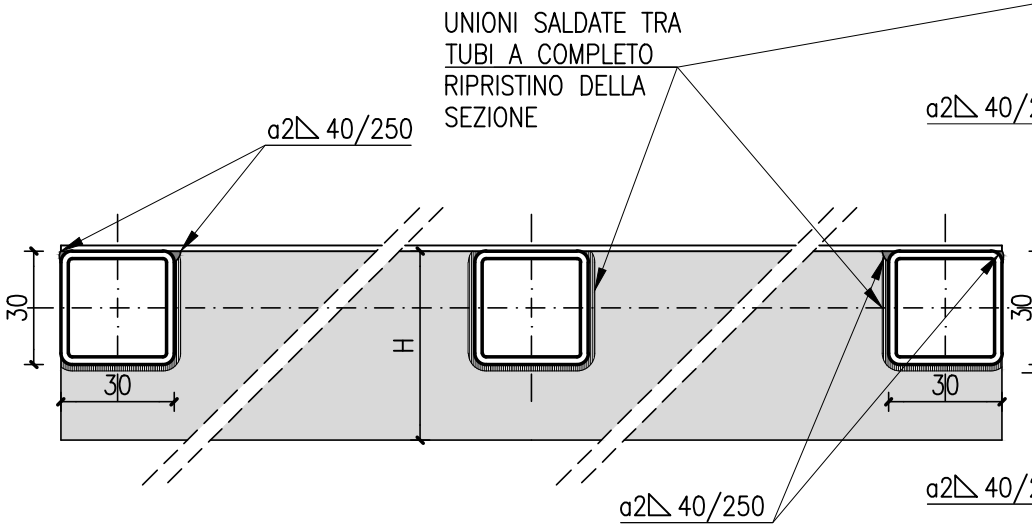
ettorebertoldini
costruzionimetalliche



SEZIONE B–B



SEZIONE A–A



PRESCRIZIONI DEI MATERIALI

ACCIAIO PER CARPENTERIE METALLICHE	
PROFILI TUBOLARI	S235 JR
LAMIERA METALLICA (sp=1,5mm)	S355 JR