

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA
U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO
TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

PROGETTO INFRASTRUTTURE

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti
Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

NR1J 01 D 29 CL IV00000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutia	S. Casula C. Coccorocchio	Novembre 2018	S. Casula L. Ebelli	Novembre 2018	T. Paoletti	Novembre 2018	Autorizzato Data S. Casula C. Coccorocchio L. Ebelli T. Paoletti Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Ing. Fabio Arduini Ing. Fabrizio Arduini Ing. Francesco Arduini ITALFERR S.p.A.

File: NR1J01D29CLIV0000001A

n. Elab.: 435_01

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
3	GENERALITA'	6
4	DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE DI PROTEZIONE	8
4.1	DESCRIZIONE OPERA DI PROTEZIONE "A"	9
5	PROGETTO E VERIFICA DELL'OPERA DI PROTEZIONE "A"	11
5.1	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E RESISTENZE DI CALCOLO	11
5.2	VERIFICA DELLA BARRIERA DI PROTEZIONE ALL'URTO	13
5.2.1	<i>Azioni sulla struttura</i>	13
5.2.2	<i>Modello di calcolo</i>	16
5.2.3	<i>Sollecitazioni sui profili longitudinali in acciaio</i>	19
5.2.4	<i>Verifiche dei profili longitudinali in acciaio</i>	20
5.2.5	<i>Controllo degli spostamenti</i>	21
5.3	VERIFICA DEI BLOCCHI DI ELEVAZIONE	22
5.4	VERIFICA DEL SISTEMA DI FONDAZIONE	24
5.4.1	<i>Modello di calcolo</i>	25
5.4.2	<i>Verifica del plinto di fondazione in direzione longitudinale (sezione parallela a x locale)</i>	37
5.4.3	<i>Verifica del plinto di fondazione in direzione trasversale (sezione parallela a y locale)</i>	40



**RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO
TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE**

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	3 di 66

5.5	VERIFICHE DEI MICROPALI DI FONDAZIONE	44
5.5.1	<i>Verifica strutturale</i>	46
5.5.2	<i>Carico Limite nei riguardi dei carichi verticali</i>	46
5.5.3	<i>Carico Limite nei riguardi dei carichi trasversali</i>	53
	<i>APPENDICE A - TABULATI DI CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL SINGOLO MICROPALO</i>	56
5.6	GIUDIZIO MOTTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI.....	62



RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO
TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	4 di 66

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto le opere di protezione delle spalle di una struttura esistente, ossia un cavalcaferrovia situato al km 28.

La progettazione di tali opere viene eseguita in ottemperanza alle normative vigenti relativamente alla problematica connessa al "Deragliamento al di sotto del ponte".

Di seguito vengono riportate le calcolazioni relative alla struttura tipologica (avente travi lunghe $L=17$ m), che vengono integrate e aggiornate per il caso in esame.

	RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo	COMMESSA NR1J	LOTTO 01	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO IV 00 00 001	REV. A	FOGLIO 5 di 66

2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

Si riporta di seguito la normativa di riferimento usata per il calcolo strutturale:

- D.M. del 17 Gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni».
- RFI DTC INC PO SP IFS 001 A – Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
- STI – Regolamento (UE) n. 1299/2014 della commissione del 18 novembre 2014 relativo alle Specifiche Tecniche di Interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.

2.1 **Documenti di riferimento**

Titolo	Codifica
Protezione del CFV al Km 28 - tipologico - pianta, sezioni e particolari costruttivi	NR1J01D29BZIV0005001A
Protezione del CFV al Km 28 - pianta e sezioni trasversali	NR1J01D29P9IV0005001A

	RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo	COMMESSA NR1J	LOTTO 01	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO IV 00 00 001	REV. A	FOGLIO 6 di 66

3 GENERALITA'

Le problematiche connesse al deragliamento e all'urto del vettore ferroviario su elementi strutturali al di sotto di un ponte, sono trattate dalle normative vigenti, che fissano le caratteristiche dell'azione eccezionale da considerare e i vincoli edificatori da rispettare.

In particolare, Le Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-2018 prescrivono al § 5.2.2.9.3 ("Deragliamento al di sotto del ponte") le distanze minime relativamente al posizionamento di elementi strutturali in adiacenza alla ferrovia, e al § 3.6.3.4 ("Urti da traffico ferroviario") le azioni prodotte dal treno deragliato sugli elementi verticali di sostegno adiacenti alla sede ferroviaria.

La norma fissa per una zona di larghezza pari a 3,5 m, misurata ortogonalmente all'asse del binario più vicino, il divieto di edificabilità. Per contro per distanze superiori ai 4,5 m è consentita la realizzazione di pilastri isolati. In caso di distanze comprese tra i due precedenti limiti è necessario prevedere appositi elementi strutturali aventi una rigidezza via via crescente con il diminuire della distanza dal binario.

Il presente progetto garantisce il vincolo di 3.5 m rispetto al binario più vicino.

Le opere di protezione sono state dimensionate nel rispetto dei requisiti di resistenza all'urto stabiliti dalle norme.

In mancanza di specifiche analisi di rischio, che tengano conto della presenza di elementi sacrificali, ovvero di condizioni che possano ridurre il rischio di accadimento dell'evento "urto" il legislatore fissa le azioni statiche equivalenti da applicare alle strutture adiacenti al binario. In tale caso tali azioni saranno agenti direttamente sull'opera di protezione.

L'intensità di tali azioni è funzione della distanza "d" degli elementi esposti dall'asse del binario. In particolare esse assumono i seguenti valori:

per distanze $d \leq 5$ m

- 4000 KN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- 1500 KN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;

per distanze 5 m < $d \leq 15$ m

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	7 di 66

- 2000 KN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;

- 750 KN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari.

Inoltre tali azioni devono essere applicate a 1,80m dal piano del ferro e considerate non agenti simultaneamente.

Le precedenti vanno considerate come carichi eccezionali e come tali sono state trattate nelle combinazioni delle azioni per il dimensionamento e la verifica delle opere per la protezione delle pile esistenti.

In particolare, in relazione di detta distanza "d" per l'opera di protezione, l'azione da urto ferroviario considerata è quella previste per distanze inferiori ai 5 m.

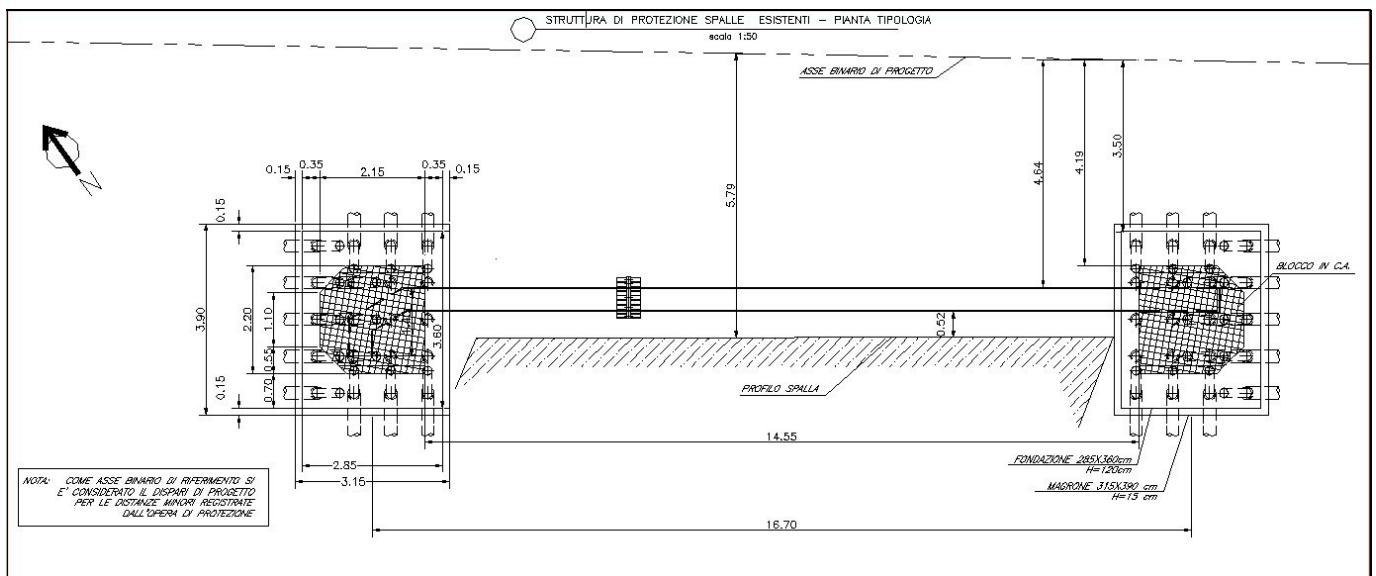
Inoltre, oltre a tali forze statiche, sono state considerate le altre azioni a cui le opere possono essere soggette in relazione anche alla loro conformazione geometrica come verrà specificato in seguito nella analisi dei carichi.

Opere di protezione all'urto di cavalferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	8 di 66

4 DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE DI PROTEZIONE

Le opere di protezione delle pile esistenti sono caratterizzate da una struttura di tipo misto costituita in parte in acciaio e in parte in conglomerato armato. Tale struttura si sviluppa parallelamente alla direzione dei binari ed è costituita da due blocchi di estremità in c.a., posti al di fuori dell'ingombro delle pile, da cui fuoriesce una trave d'acciaio costituita da 5 profili metallici del tipo HE saldati insieme, che, sviluppandosi longitudinalmente ai binari, costituisce una sorta di barriera proteggendo le pile in caso di deragliamento del treno.



I blocchi in c.a. sono dei parallelepipedi con sezione approssimativamente rettangolare di lati 1.90x2.15 m e altezza di 2.65 m, misurata dall'estradosso della fondazione.

La fondazione è costituita da un plinto su 20 micropali.

I blocchi in c.a. con le relative fondazioni costituiscono il vincolo elastico delle travi in acciaio poste a protezione delle pile. Ogni trave è costituita da conci che hanno una sezione costituita da 5 profili HE uniti in officina tramite una saldatura a completa penetrazione in corrispondenza delle porzioni di estremità delle ali. I conci poi saranno giuntati in cantiere per mezzo di unioni bullonate progettate a completo ripristino di resistenza e in grado di limitare gli scorrimenti sotto le azioni da urto. Inoltre le travi così assemblate verranno collegate agli elementi in c.a. per mezzo di pezzi speciali inglobati nel conglomerato stesso in fase di getto.

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

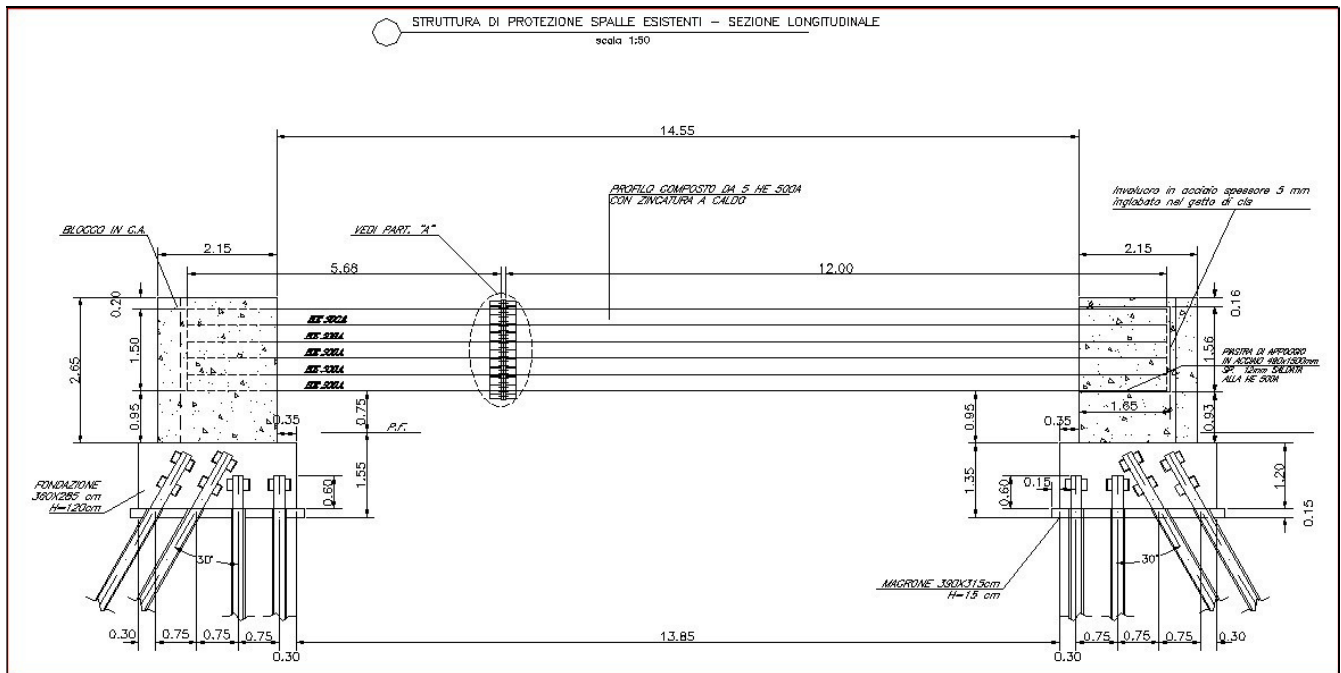
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	9 di 66

Inoltre per evitare nelle travi l'insorgere di stati di sollecitazione dovuti alle variazioni termiche che possono agire sulla struttura, è stata prevista la possibilità di avere scorrimenti dovuti ad allungamenti o a contrazioni per effetti termici. A tale scopo in una delle due estremità delle travi annegate nei blocchi in c.a., è prevista la presenza di un involucro di acciaio rivestito di teflon, caratterizzato da dimensioni maggiori di quelle dei profili metallici che deve accogliere, consentendone così gli scorrimenti al suo interno. Infine per migliorare l'appoggio delle travi in tale involucro, una piastra di acciaio sarà saldata alla base del profilo HE posto più in basso.

4.1 Descrizione opera di protezione "A"

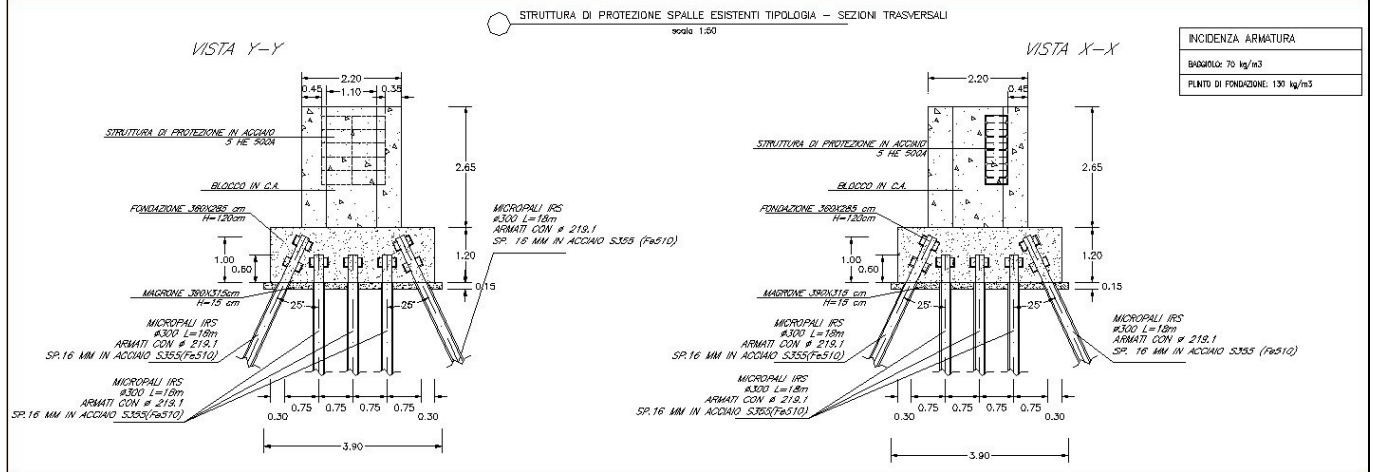
Per opera di protezione "A" si intende il caso in cui la distanza tra la protezione e la pila sia inferiore o uguale a 5 m. In questa categoria ricade la protezione alla pk. 28.

L'opera in oggetto, come riportato al punto precedente, è caratterizzata da un profilo composto in acciaio che sviluppandosi parallelamente alla direzione dei binari protegge le pile esistenti. Nello specifico, tale struttura metallica è ottenuta saldando uno sopra l'altro in officina 5 profilati del tipo HE 500A, annegando le estremità in blocchi di calcestruzzo armato in modo da assicurarne la stabilità. In questo modo si ottiene una sorta di barriera per le pile di larghezza pari alla massima dimensione dei singoli profilati (49 cm) e altezza pari a 150 cm.



Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	10 di 66



Ogni blocco di estremità è sostenuto da un plinto di fondazione alto 120 cm che misura in pianta 360x285 cm. Il plinto di fondazione è intestato su n°20 micropali IRS aventi un diametro $\phi = 300$ mm ed una lunghezza di 18 m.

5 PROGETTO E VERIFICA DELL'OPERA DI PROTEZIONE "A"

5.1 Caratteristiche dei materiali e resistenze di calcolo

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

▪ Calcestruzzo per magrone di riempimento e livellamento:

- Classe C12/15 (Resistenza caratteristica $R_{ck}=15.0$ MPa)
- Resistenza caratteristica a compressione: $f_{ck}= R_{ck} \times 0.83=15 \times 0.83 = 12.45$ MPa
- Resistenza media a compressione: $f_{cm} = f_{ck}+8 =20.45$ MPa
- Resistenza media a trazione: $f_{ctm}= 0.3 \times f_{ck}^{2/3} =1.61$ MPa
- Modulo elastico: $E_{cm}= 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} =27267$ MPa
- Peso specifico: $\gamma = 25$ kN/m³

▪ Calcestruzzo per opere in elevazione e baggioli:

- Classe C30/37 (Resistenza caratteristica $R_{ck}=37.0$ MPa)
- Resistenza caratteristica a compressione: $f_{ck}= R_{ck} \times 0.83=37 \times 0.83 = 30.71$ MPa
- Resistenza media a compressione: $f_{cm} = f_{ck}+8 =38.71$ MPa
- Resistenza media a trazione: $f_{ctm}= 0.3 \times f_{ck}^{2/3} =2.94$ MPa
- Modulo elastico: $E_{cm}= 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} =33019$ MPa
- Peso specifico: $\gamma = 25$ kN/m³

▪ Calcestruzzo per fondazioni armate e pali di fondazione:

- Classe C25/30 (Resistenza caratteristica $R_{ck}=30.0$ MPa)
- Resistenza caratteristica a compressione: $f_{ck}= R_{ck} \times 0.83=30 \times 0.83 = =24.90$ MPa
- Resistenza media a compressione: $f_{cm}= f_{ck}+8 =32.90$ MPa
- Resistenza media a trazione: $f_{ctm}= 0.3 \times f_{ck}^{2/3} =2.56$ MPa
- Modulo elastico: $E_{cm}= 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} =31447$ MPa
- Peso specifico: $\gamma = 25$ kN/m³

▪ Acciaio per cemento armato:

- Barre di armatura B450C

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	12 di 66

- Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk}= 450$ MPa
- Tensione di calcolo di snervamento: $f_{yd}= 391.30$ MPa
- Modulo elastico: $E_f= 210000$ MPa
- Peso specifico: $\gamma_s= 780$ kN/m³

▪ **Acciaio per travi di protezione e armatura micropali:**

- Profilati in acciaio classe S 355
- Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk}= 355$ MPa
- Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk}= 510$ MPa

	RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo	COMMESSA NR1J	LOTTO 01	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO IV 00 00 001	REV. A	FOGLIO 13 di 66

5.2 Verifica della barriera di protezione all'urto

5.2.1 Azioni sulla struttura

Come richiesto dalle normative vigenti, la sicurezza di una struttura deve essere valutata in relazione all'insieme degli stati limite che verosimilmente possono verificarsi nel corso della sua vita utile, intendendo per stato limite una condizione oltre la quale la struttura non è più in grado di soddisfare le esigenze per cui è stata progettata.

Specificamente, la struttura nel suo complesso e ciascuna delle sue membrature devono soddisfare i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU);
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE);
- robustezza nei confronti di azioni accidentali, quali quelle derivanti dall'urto di un convoglio ferroviario.

Per ciascuno stato limite devono essere individuati scenari di carico rappresentativi delle possibili combinazioni delle azioni.

Nel caso specifico si considerano le azioni permanenti, costituite dal peso proprio degli elementi strutturali (G1), le azioni variabili (Q) e le azioni eccezionali da urto (Ad), combinate tra loro come di seguito simbolicamente specificato (NTC § 2.5.3):

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad (relazione 2.5.6. delle NTC):

$$G1 + Ad + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \dots$$

Il peso proprio G1 è facilmente deducibile data la semplice geometria dell'opera in oggetto e le caratteristiche dei materiali utilizzati.

Come azione variabile dovrebbe essere considerata, ai fine delle verifiche della struttura, soltanto l'azione dovuta alle variazioni termiche che la normativa fissa per le strutture in acciaio esposte pari a $\Delta T = \pm 25^\circ \text{C}$. In realtà per evitare nei profili in acciaio l'insorgere di stati di sollecitazione dovuti alle variazioni termiche che possono agire

sulla struttura, è stata prevista la possibilità di avere scorrimenti dovuti ad allungamenti o a contrazioni per effetti termici, per cui tale azione non è stata considerata nelle combinazioni di carico previste.

L'azione aerodinamica dovuta al passaggio dei convogli ferroviari non è chiaramente dimensionante ed è pertanto stata trascurata.

Per quanto riguarda le azioni Ad esse sono considerate come forze statiche da applicare a quota +1.80 m dal piano ferro e assumono i valori previsti dalla norma per distanze dagli elementi esposti dall'asse del binario inferiori o uguali ai 5 m, come specificato in precedenza e di seguito riportato:

- **4000 KN** in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari, ossia in direzione longitudinale

- **1500 KN** in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari, ossia in direzione trasversale

La normativa prescrive che le azioni da urto ferroviario nella direzione longitudinale e trasversale ai binari siano considerate come non agenti contemporaneamente, e inoltre a seconda della posizione di applicazione della forze si ottengono condizioni più gravose ai fini delle verifiche della trave longitudinale in acciaio oppure per i blocchi in c.a. di estremità.

Si riportano di seguito i carichi applicati sulla struttura:

		Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
2	URTO AD, LONG_1	4000	0	0	0	0	0
3	URTO AD, LONG_2	4000	0	0	0	3800	0
4	URTO AD, TRAS_1	0	0	1500	0	0	0
5	URTO AD, TRAS_2	0	0	1500	0	0	0

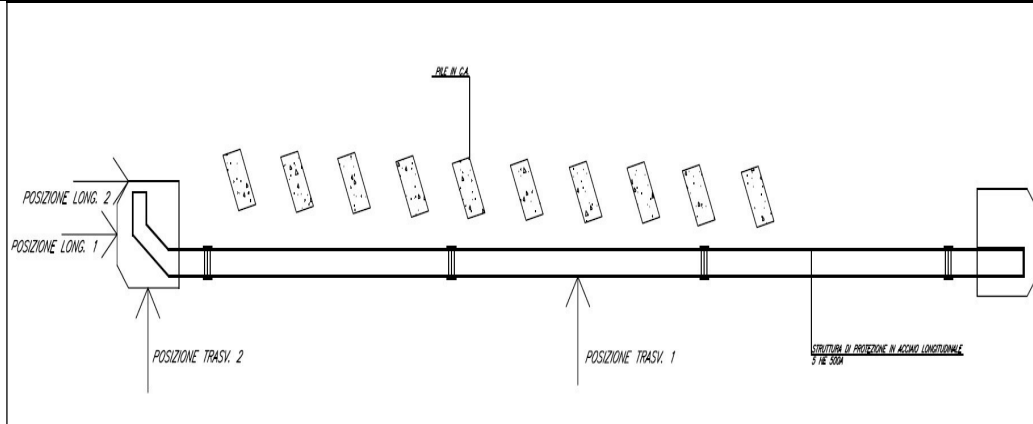
Le relative combinazioni di carico sono:

- Eccezionale 1: G1 + Ad=4000 kN in posizione longitudinale 1
- Eccezionale 2: G1 + Ad=4000 kN in posizione longitudinale 2
- Eccezionale 3: G1 + Ad=1500 kN in posizione trasversale 1
- Eccezionale 4: G1 + Ad=1500 kN in posizione trasversale 2
- SLE - Combinazione caratteristica (rara): G1

Dove le posizioni in cui sono applicate le forze sono riportati in figura.

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	15 di 66



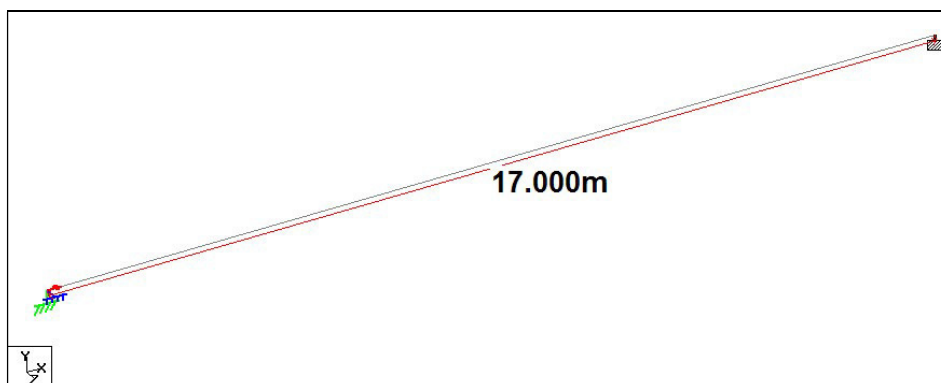
Per la verifica della barriera si considerano le combinazioni: Eccezionale 1, Eccezionale 3. Infine si specifica che non è stata considerata nel calcolo l'azione sismica, in quanto quest'ultima genera delle sollecitazioni dovute solamente alla presenza della sola massa dell'opera stessa che sono del tutto trascurabili rispetto alle azioni da urto, per questo motivo non viene considerata nel calcolo.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE</p>					
<p>Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo</p>	<p>COMMESSA NR1J</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA D 29 CL</p>	<p>DOCUMENTO IV 00 00 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 16 di 66</p>

5.2.2 Modello di calcolo

La struttura è stata modellata con il software agli elementi finit Staad.Pro V8i. In particolare, è stato utilizzato un elemento finito di tipo "beam" opportunamente vincolato all'estremità per modellare la barriera. Lo schema statico adottato è conforme alla scelta di prevedere uno scorrimento longitudinale indotto dalle variazioni termiche. Pertanto, si ha un'estremità perfettamente incastrata e l'altra libera di traslare longitudinalmente essendo bloccati gli altri spostamenti e le rotazioni.

Al fine di validare i risultati della modellazione, al punto 5.6 vengono riportate delle verifiche semplificate sullo schema statico della trave in oggetto.



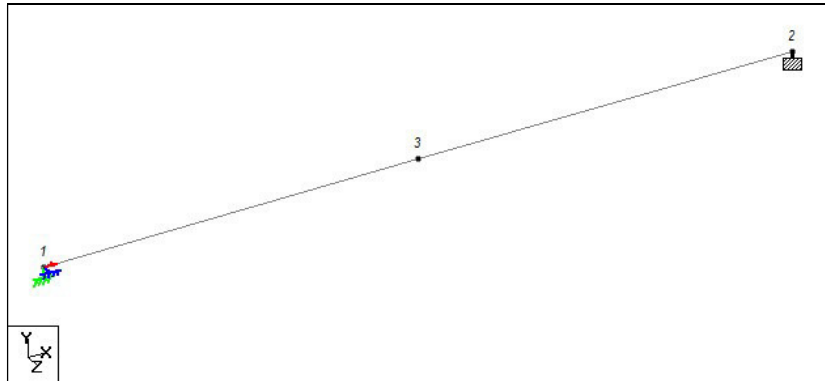
Modello Staad - Protezione "A"

Nel caso dell'opera di protezione denominata "A", la luce della trave risulta pari a circa 17.0 m.

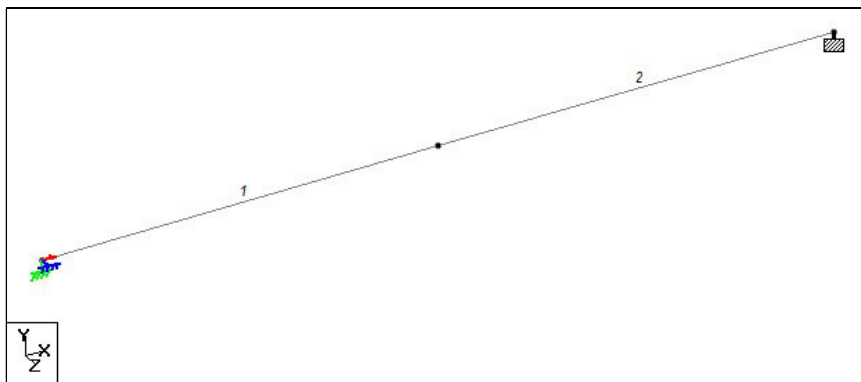
Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	17 di 66

Di seguito si riporta la numerazione dei nodi e degli elementi "beam".



Modello Staad – Numerazione dei nodi

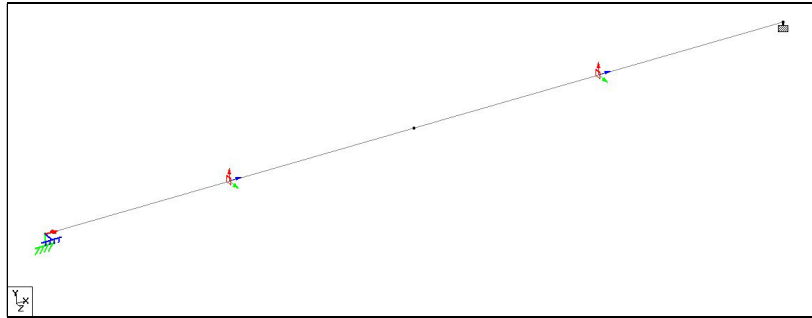


Modello Staad – Numerazione degli elementi "beam"

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	18 di 66

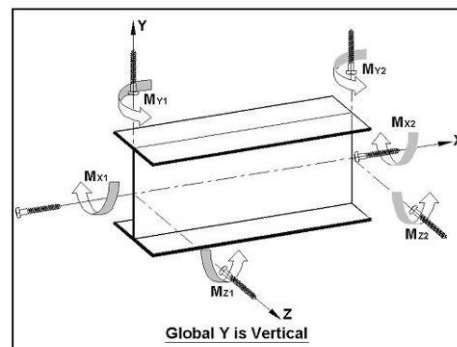
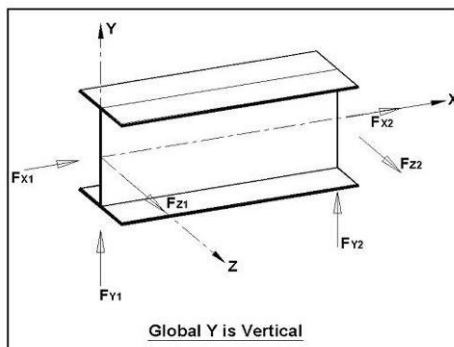
Si illustra inoltre l'orientamento delle coordinate locali degli elementi "beam" in riferimento alle coordinate globali.



ASSI LOCALI

Asse X	Colore BLU
Asse Y	Colore ROSSO
Asse Z	Colore VERDE

Le figure seguenti riportano la convenzione assunta dal programma Staad.Pro per gli elementi "beam".



Elementi "beams" → momento flettente $M_z > 0$ tende le fibre superiori, $M_z < 0$ tende quelle inferiori

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	19 di 66

5.2.3 Sollecitazioni sui profili longitudinali in acciaio

La trave di protezione presenta le seguenti sollecitazioni di calcolo riportate nella tabella sottostante.

SOLLECITAZIONI SLU AGENTI AGLI ESTREMI DELLA TRAVE									
COMB. ECC_1									
Beam	L/C	Node	Axial Force kN	Shear-Y kN	Shear-Z kN	Torsion kNm	Moment-Y kNm	Moment-Z kNm	
2	6	3	4000	0	0	0	0	-83.946	
1	6	1	4000	59.256	0	0	0	167.892	
2	6	2	-4000	59.256	0	0	0	-167.892	
1	6	3	-4000	0	0	0	0	83.946	
COMB. ECC_2									
Beam	L/C	Node	Axial Force kN	Shear-Y kN	Shear-Z kN	Torsion kNm	Moment-Y kNm	Moment-Z kNm	
2	7	3	4000	0	0	0	0	-83.946	
1	7	1	4000	59.256	0	0	0	167.892	
2	7	2	-4000	59.256	0	0	0	-167.892	
1	7	3	-4000	0	0	0	0	83.946	
COMB. ECC_3									
Beam	L/C	Node	Axial Force kN	Shear-Y kN	Shear-Z kN	Torsion kNm	Moment-Y kNm	Moment-Z kNm	
1	8	3	0	0	750	0	3187.5	83.946	
2	8	3	0	0	750	0	-3187.5	-83.946	
2	8	2	0	59.256	-750	0	-3187.5	-167.892	
1	8	1	0	59.256	-750	0	3187.5	167.892	
COMB. ECC_4									
Beam	L/C	Node	Axial Force kN	Shear-Y kN	Shear-Z kN	Torsion kNm	Moment-Y kNm	Moment-Z kNm	
1	9	3	0	0	0	0	0	83.946	
2	9	3	0	0	0	0	0	-83.946	
2	9	2	0	59.256	0	0	0	-167.892	
1	9	1	0	59.256	0	0	0	167.892	
SOLLECITAZIONI SLE AGENTI AGLI ESTREMI DELLA TRAVE									
COMB. SLE									
Beam	L/C	Node	Axial Force kN	Shear-Y kN	Shear-Z kN	Torsion kNm	Moment-Y kNm	Moment-Z kNm	
1	10	3	0	0	0	0	0	83.946	
2	10	3	0	0	0	0	0	-83.946	
2	10	2	0	59.256	0	0	0	-167.892	
1	10	1	0	59.256	0	0	0	167.892	



RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO
TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	20 di 66

5.2.4 Verifiche dei profili longitudinali in acciaio

La sezione trasversale di verifica delle travi longitudinali in acciaio è ottenuta, come riportato in precedenza, dalla unione di cinque profili HE 500A tramite saldatura a completa penetrazione in modo da poter considerare la sezione come monolitica.

La sezione è stata verificata a resistenza ed a stabilità direttamente attraverso il programma di calcolo Staad/Pro.

Di seguito si riporta la verifica della membratura in termini di coefficiente di utilizzo ed in funzione della combinazione di carico peggiore:

VERIFICA TRAVE - SLU					
Beam	Analysis Property	Actual Ratio	Allowable Ratio	Clause	L/C
1	5_HE500A	0.813	1	EC-6.2.5	ECC_3
2	5_HE500A	0.813	1	EC-6.2.5	ECC_3

5.2.5 Controllo degli spostamenti

Il corretto funzionamento dell'opera di protezione presuppone che gli spostamenti sotto l'effetto delle azioni da urto siano inferiori a quelli ammessi dall'opera stessa, ossia minore del gap presente tra l'opera di protezione e la pila esistente.

Lo spostamento massimo si ottiene quando l'azione da urto trasversale è applicata in mezzzeria (combinazione Eccezionale 3).

Di seguito si riporta la verifica a spostamento della membratura in esame.

TRAVE - DISPLACEMENT SUMMARY			Horizontal	Vertical	Horizontal
	Node	L/C	X mm	Y mm	Z mm
Max X	1	6 ECC_1	4.386	0	0
Min X	2	6 ECC_1	0	0	0
Max Y	1	6 ECC_1	4.386	0	0
Min Y	3	6 ECC_1	2.193	-0.598	0
Max Z	3	8 ECC_3	0	-0.598	59.518
Min Z	1	6 ECC_1	4.386	0	0

La verifica è soddisfatta, essendo la distanza della struttura preesistente maggiore di quella calcolata.

5.3 Verifica dei blocchi di elevazione

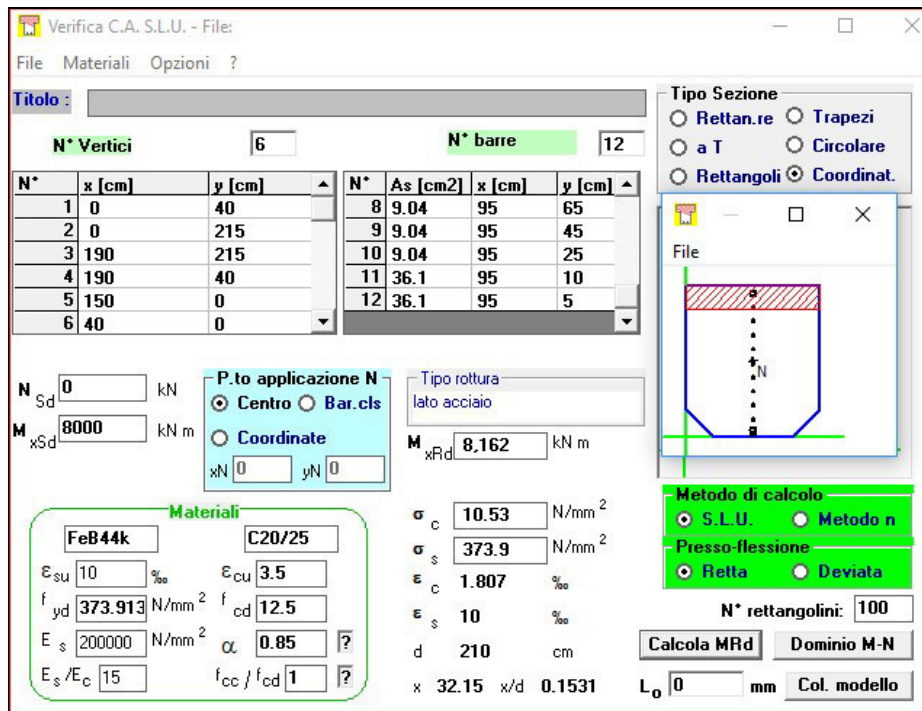
I blocchi in cemento armato in cui si intestano le travi in acciaio vengono verificati alle sollecitazioni trasmesse dalle travi stesse. Tali azioni si riferiscono agli assi locali del blocco in cemento armato. Di seguito si riportano l'armatura longitudinale e l'armatura orizzontale prevista. Il copriferro adottato (da intendere come netto) è di 4,0 cm.

Si verifica l'elevazione per la sola azione longitudinale ($F=4000$ kN), in quanto la più gravosa.

Il braccio della forza rispetto all'estradosso della fondazione è pari a 2.0 m.

Il momento agente è pertanto pari a: $M=4000*2=8000$ kNm

Si dispongono $8\phi 24$ in doppio strato e $2\phi 24/20$ sui bordi.



Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni ?

Titolo :

N° Vertici: 6 N° barre: 12

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm ²]	x [cm]	y [cm]
1	0	40	8	9.04	95	65
2	0	215	9	9.04	95	45
3	190	215	10	9.04	95	25
4	190	40	11	36.1	95	10
5	150	0	12	36.1	95	5
6	40	0				

N_{Sd}: 0 kN
M_{xSd}: 8000 kN m

P.to applicazione N: Centro Bar.cls
 Coordinate
xN: 0 yN: 0

Tipo rottura: lato acciaio
M_{xRd}: 8,162 kN m

Materiali: FeB44k C20/25

σ_c: 10.53 N/mm²
σ_s: 373.9 N/mm²
ε_c: 1.807 ‰
ε_s: 10 ‰
d: 210 cm
x: 32.15 x/d: 0.1531

Metodo di calcolo: S.L.U. Metodo n
Presso-flessione: Retta Deviata

N° rettangolini: 100

Calcola MRd Dominio M-N
L₀: 0 mm Col. modello

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

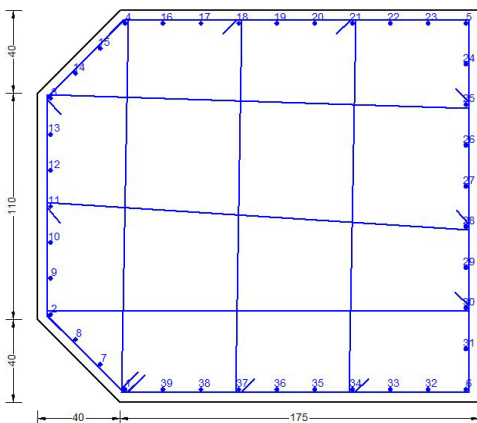
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	23 di 66

Per il dimensionamento a taglio si predispongono tra staffe e legature, $\phi 12/10$ - 5 bracci

Verifica a taglio

Base (m)	1.90
Altezza (m)	2.15
Copriferro (m)	0.10
Alt. Utile (m)	2.05
A_{sw} (m ²)	0.00057
# bracci	5
\emptyset (mm)	12
s (V_{Ed-max}) (m)	0.10
V_{Ed-max} (kN)	4000
f_{yd} (kN/m ²)	391304
f_{cd} (kN/m ²)	15867
f'_{cd} (kN/m ²)	7933
s (progetto) (m)	0.10
V_{Rcd} (kN)	13905
V_{Rsd} (kN)	4080
$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd}) \geq V_{Ed-max}$	
V_{Rd} (kN)	4080

La verifica risulta soddisfatta.

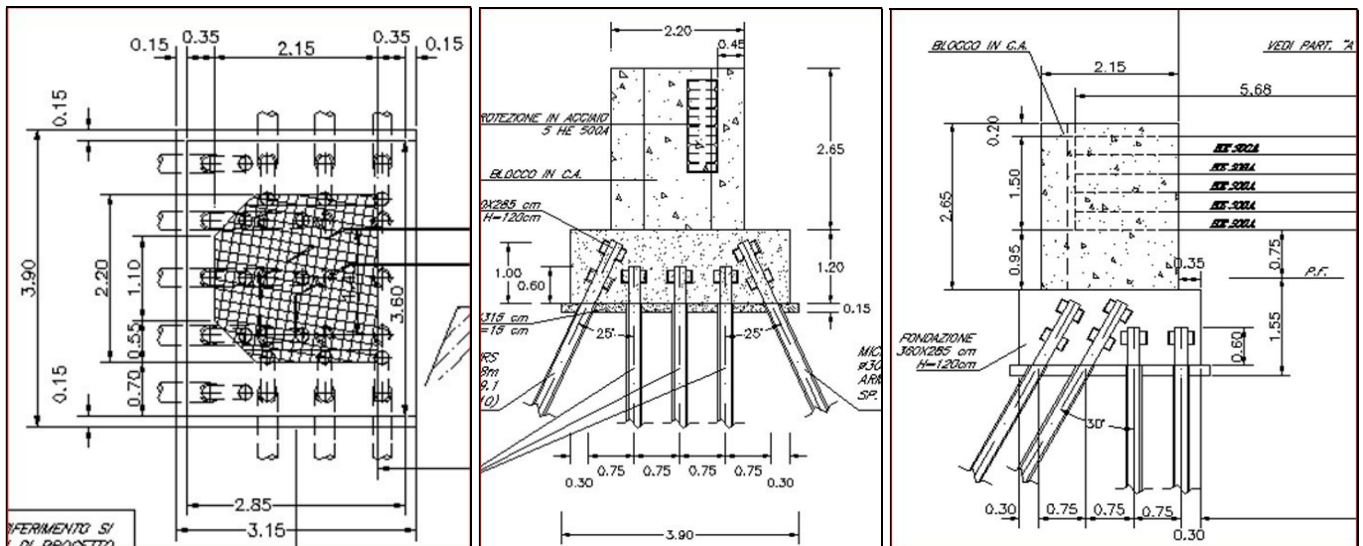


Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	24 di 66

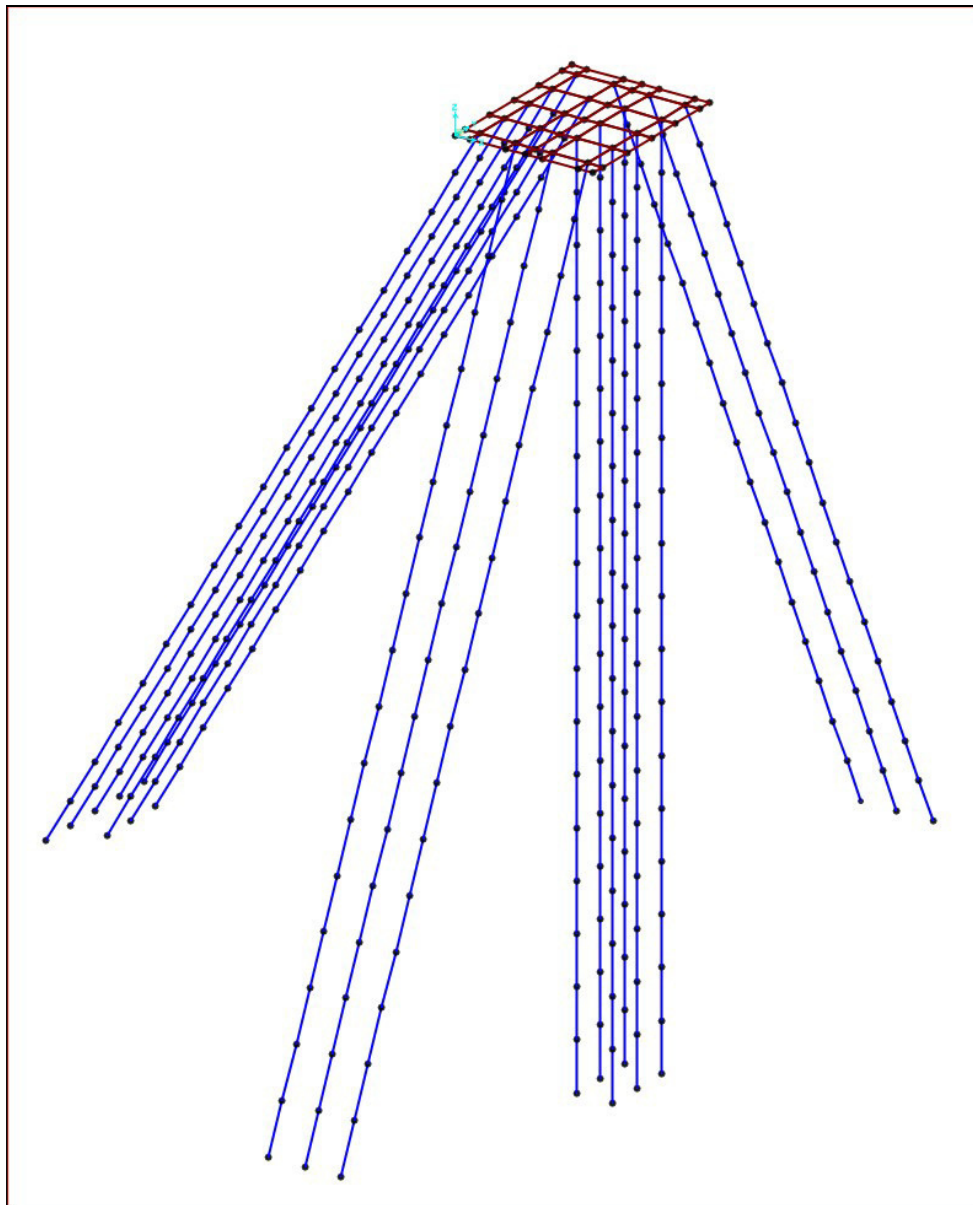
5.4 Verifica del sistema di fondazione

Come in precedenza descritto, ogni blocco di estremità in c.a. è sostenuto da un plinto di fondazione alto 120 cm che misura in pianta 285x360 cm. Il plinto di fondazione è intestato su 20 micropali IRS aventi un diametro $\phi=300$ mm e una lunghezza di 18 m. Tali micropali sono posti ad un interasse pari a 3 volte il loro diametro e presentano diverse inclinazioni per meglio assorbire le sollecitazioni che nascono per effetto delle forze statiche dovute agli urti da convogli ferroviari. La figura riporta in pianta la fondazione della struttura di protezione e mostra anche il verso e l'angolo di inclinazione dei micropali.



5.4.1 Modello di calcolo

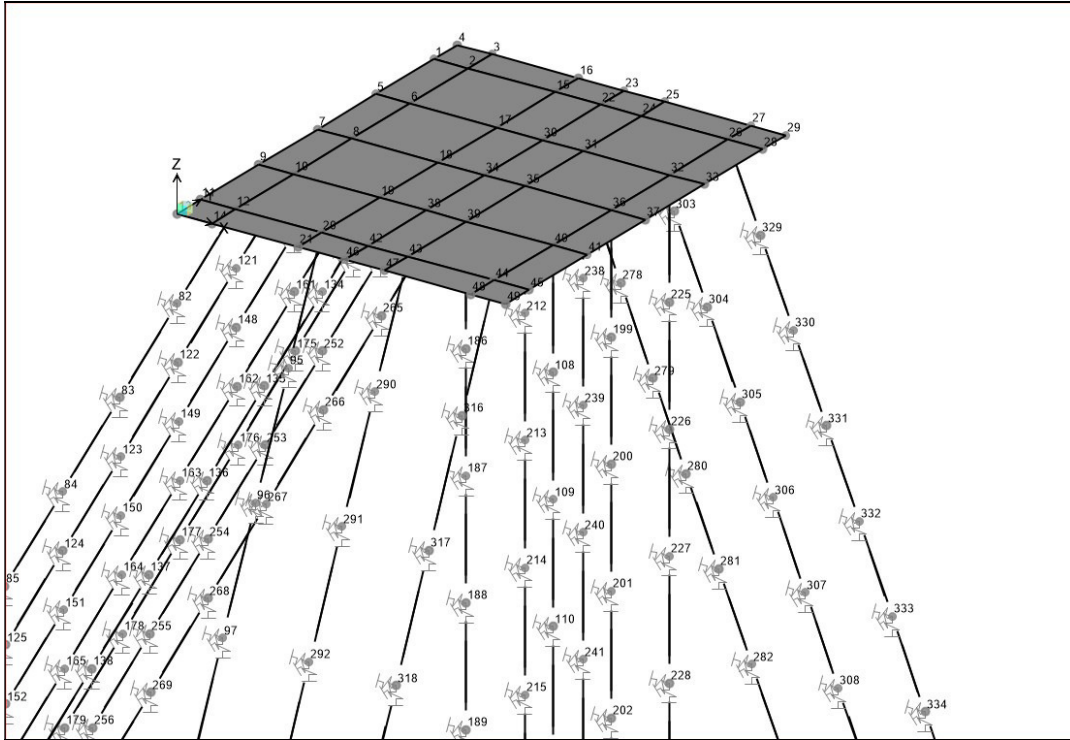
Per la verifica del sistema di fondazione è stata eseguita una modellazione agli elementi finiti con il software Sap2000. Il plinto di fondazione è stato modellato mediante elementi "plate". I pali di fondazione sono stati modellati come elementi "beam".



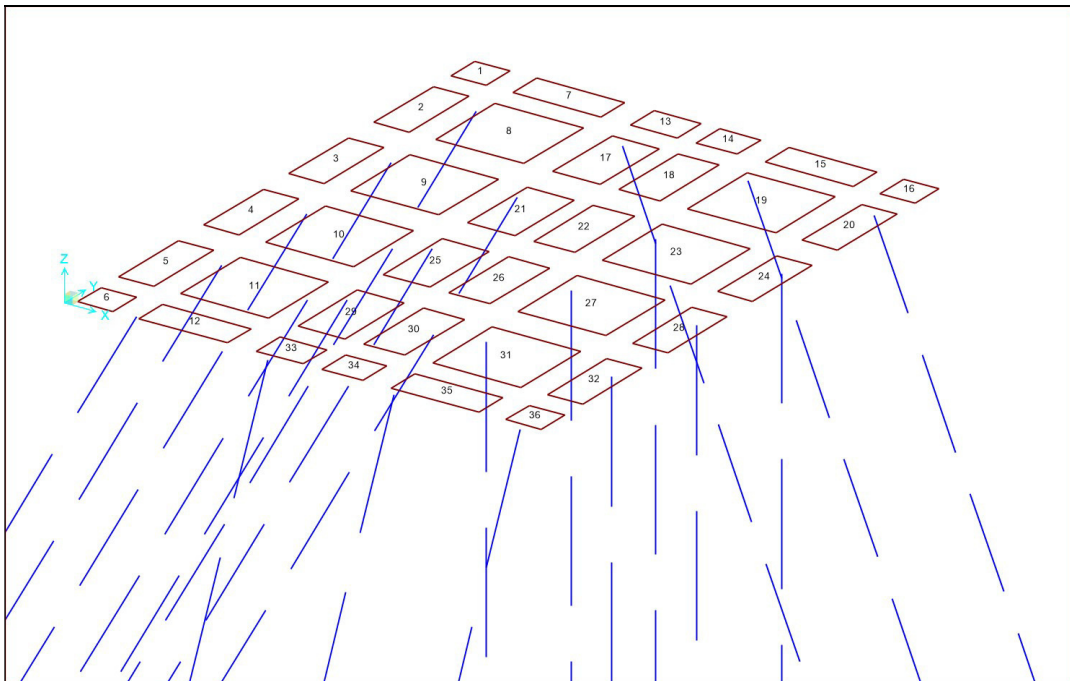
Modello Sap2000 – Shell e aste

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	26 di 66



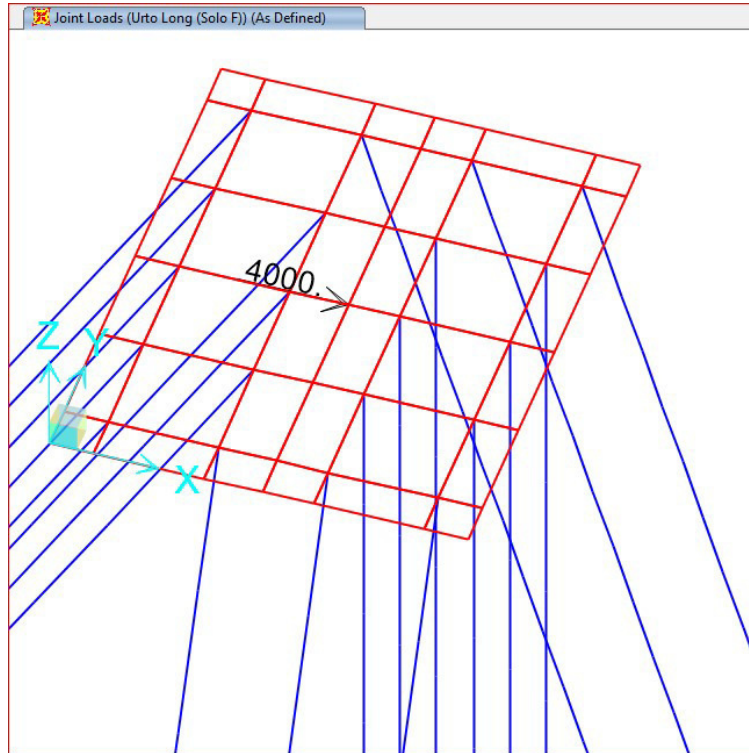
Modello Sap2000 – Numerazione nodi e springs



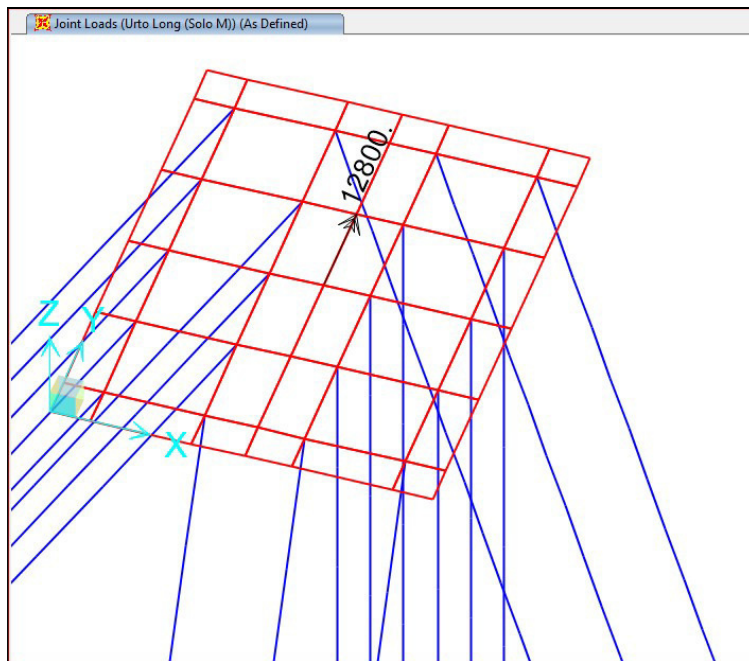
Modello Sap2000 – Numerazione shell

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	27 di 66



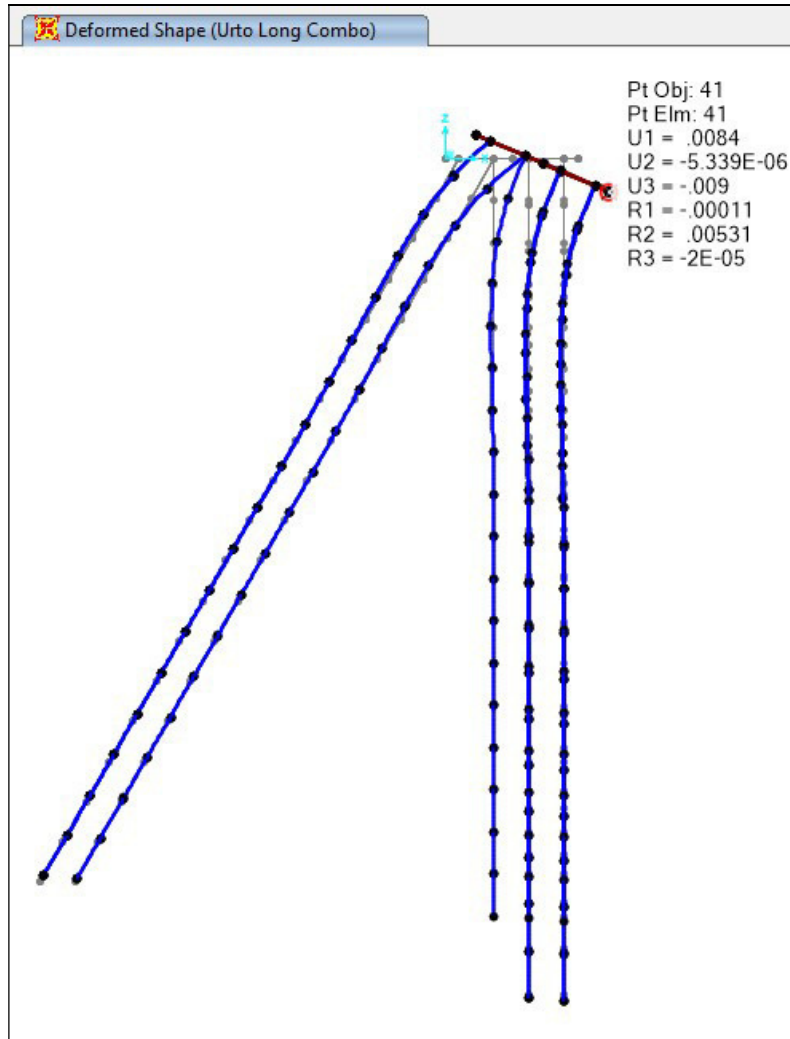
Modello Sap2000 – Azione Longitudinale (solo V)



Modello Sap2000 – Azione Longitudinale (solo M)

Opere di protezione all'urto di cavalferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

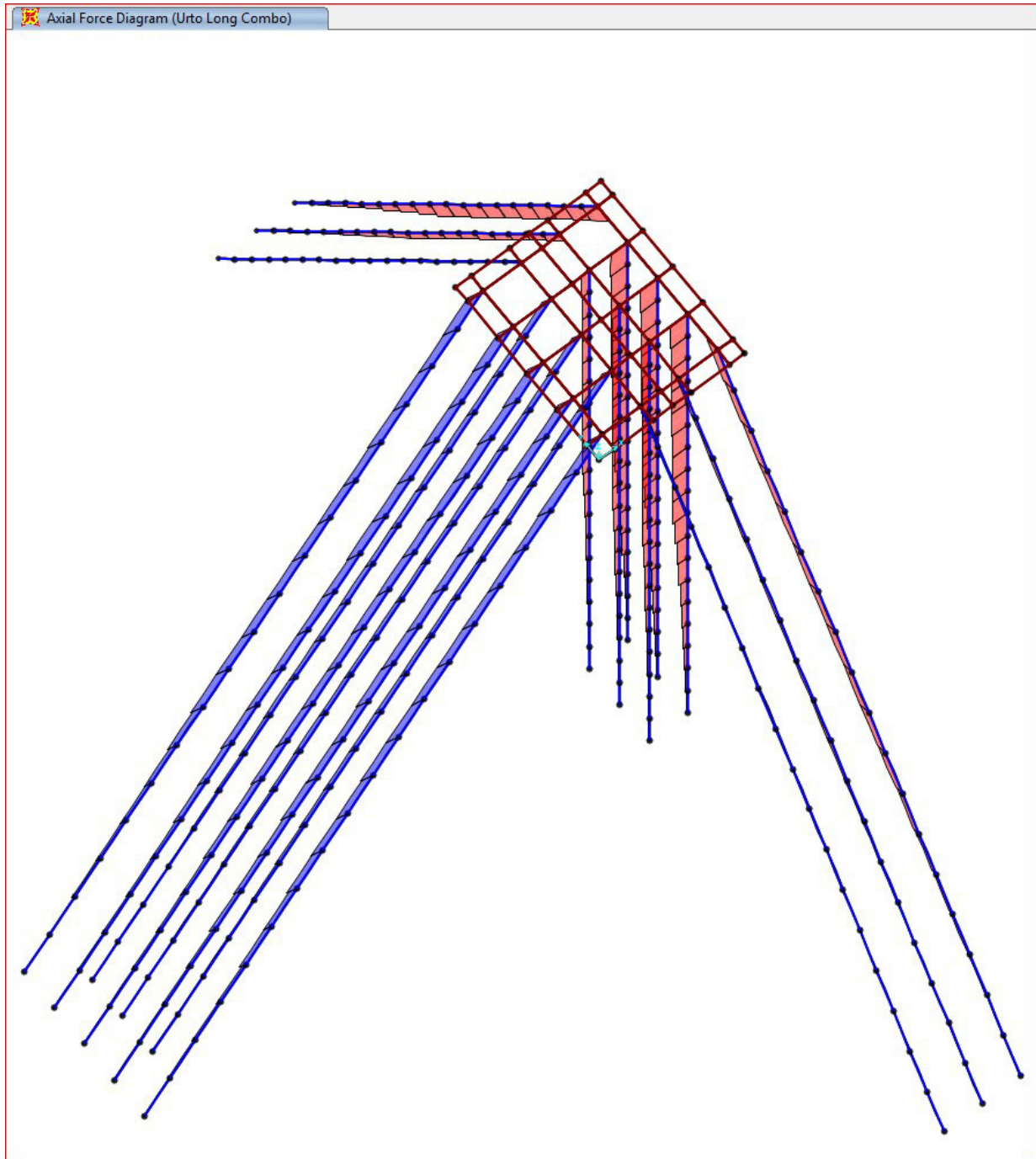
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	28 di 66



Modello Sap2000 – Deformazione sotto azione Longitudinale

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	29 di 66

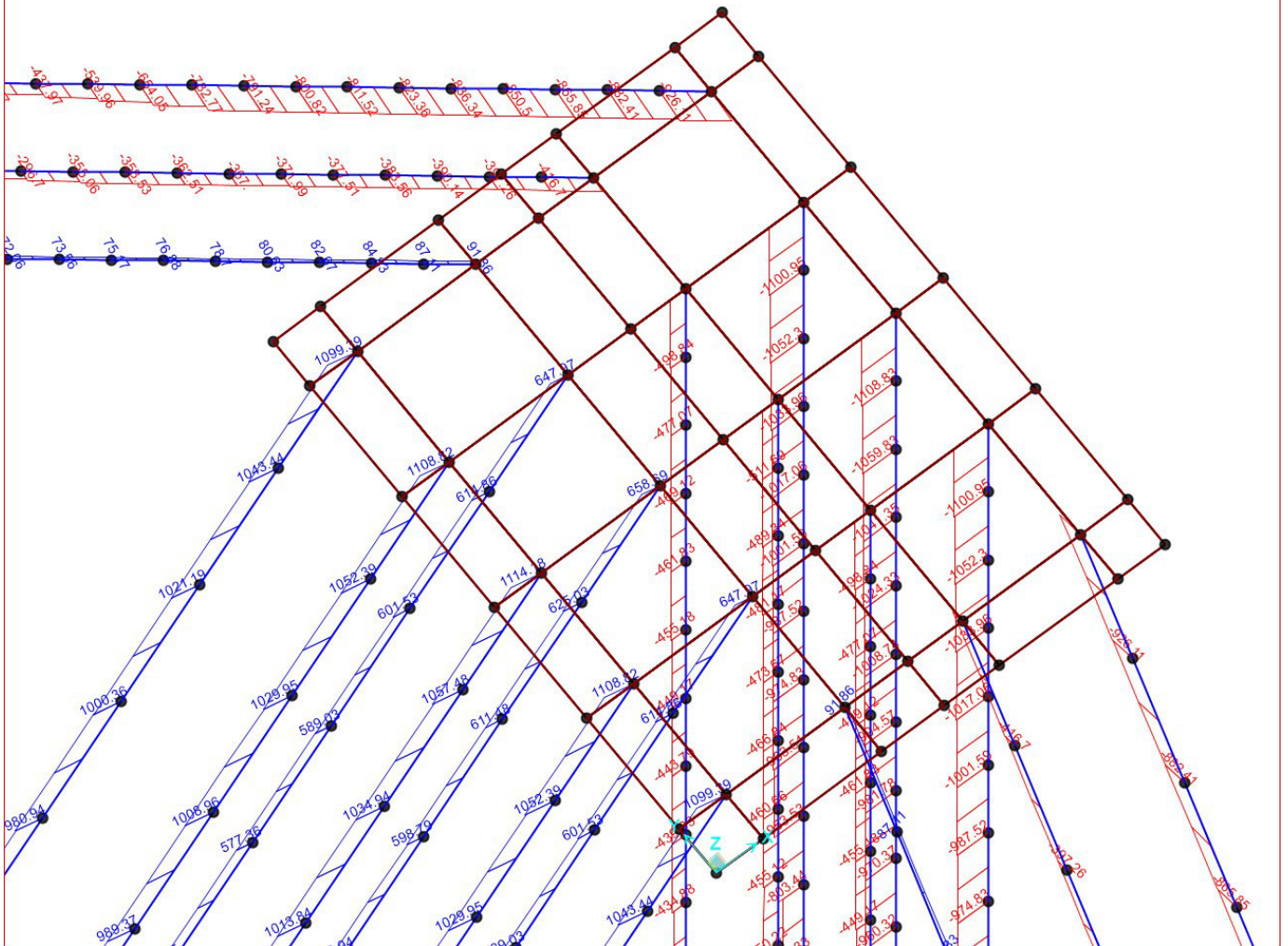


Modello Sap2000 – Sollecitazioni Assiali sui micropali per azione Longitudinale

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	30 di 66

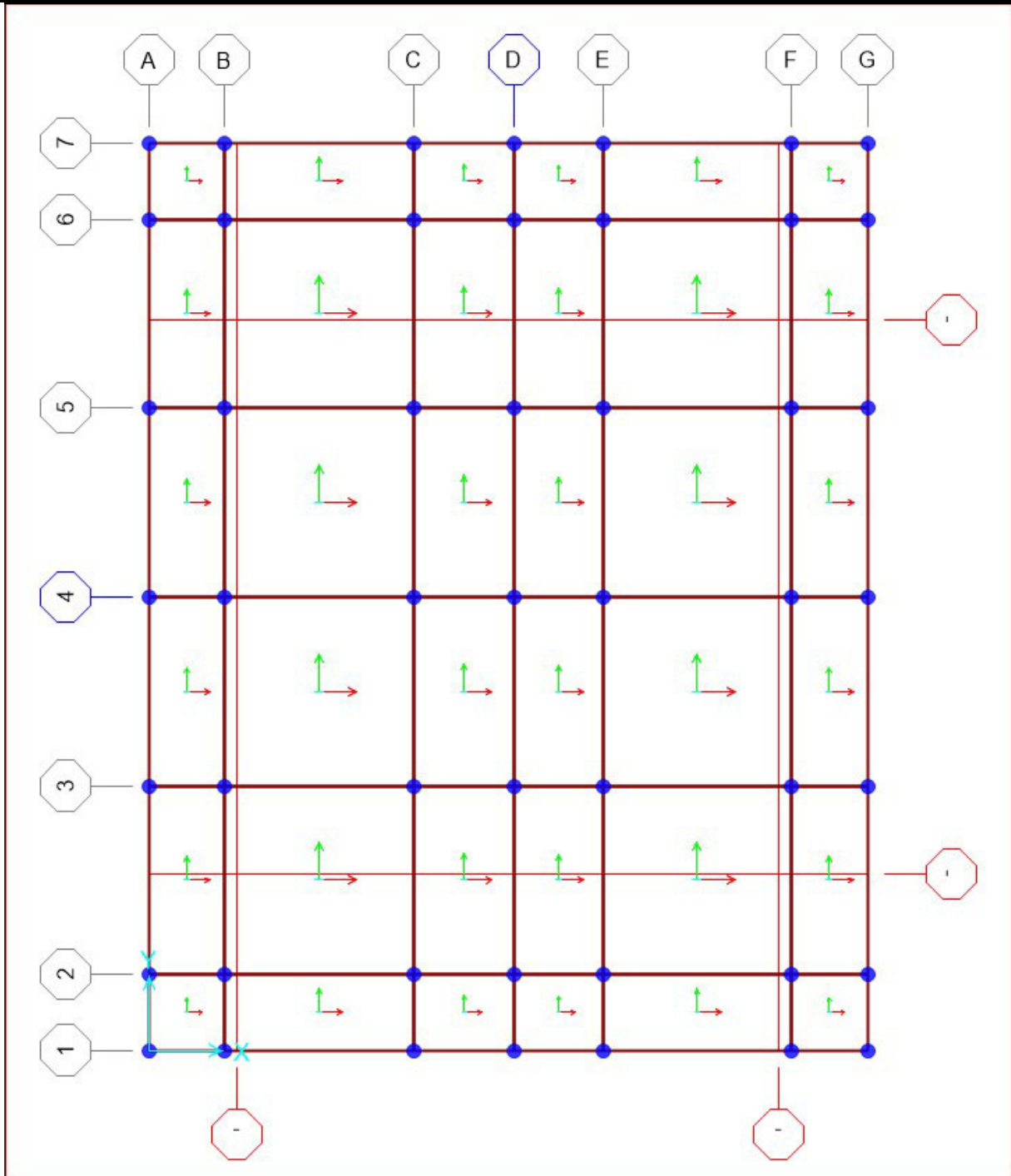
Axial Force Diagram (Urto Long Combo)



Modello Sap2000 – Sollecitazioni Assiali sui micropali per azione Longitudinale – Dettaglio valori

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

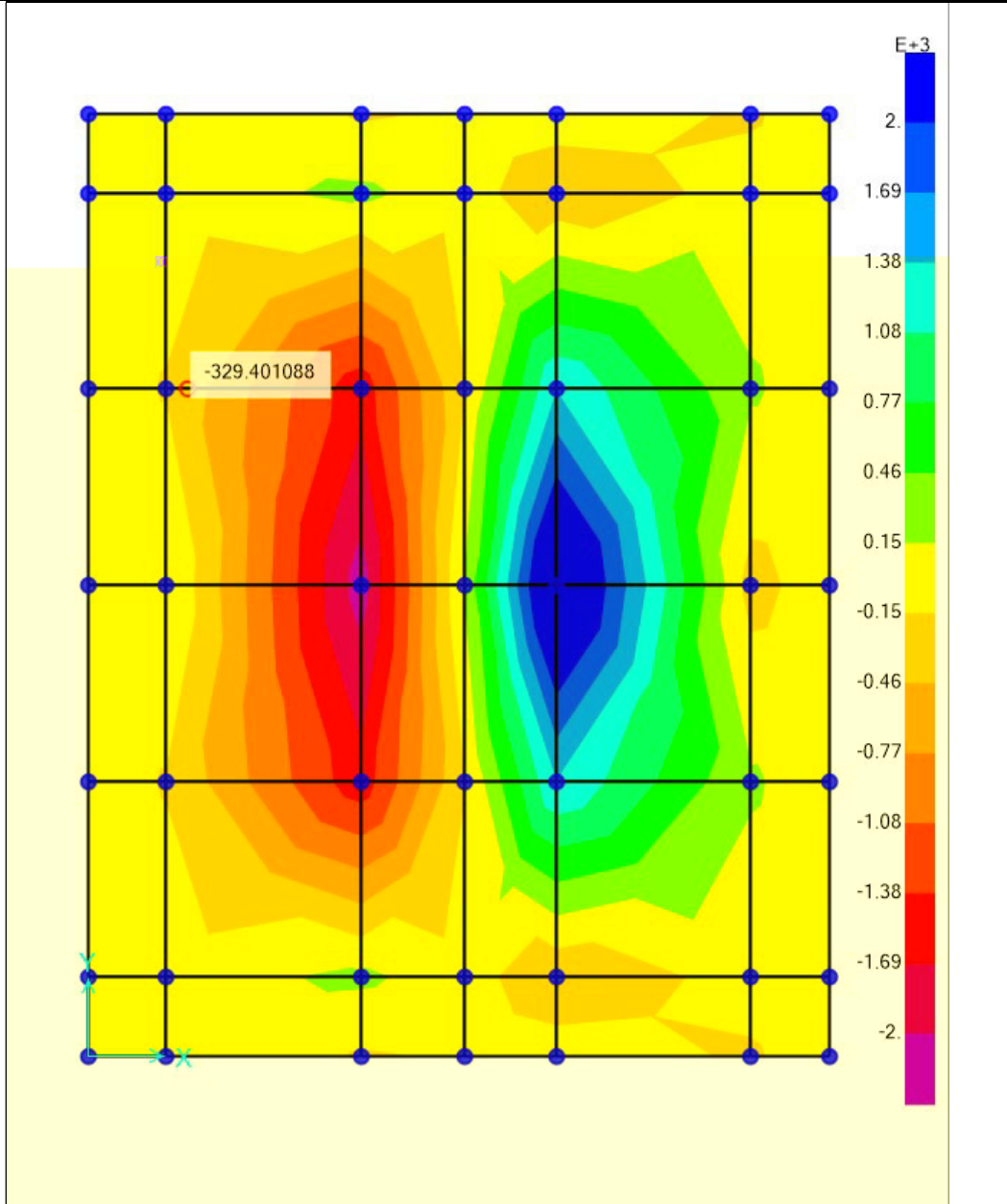
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	32 di 66



Modello Sap2000 – Shell – Assi e griglia (ingombro elevazione delimitato dai fili “-“)

Opere di protezione all'urto di cavalferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

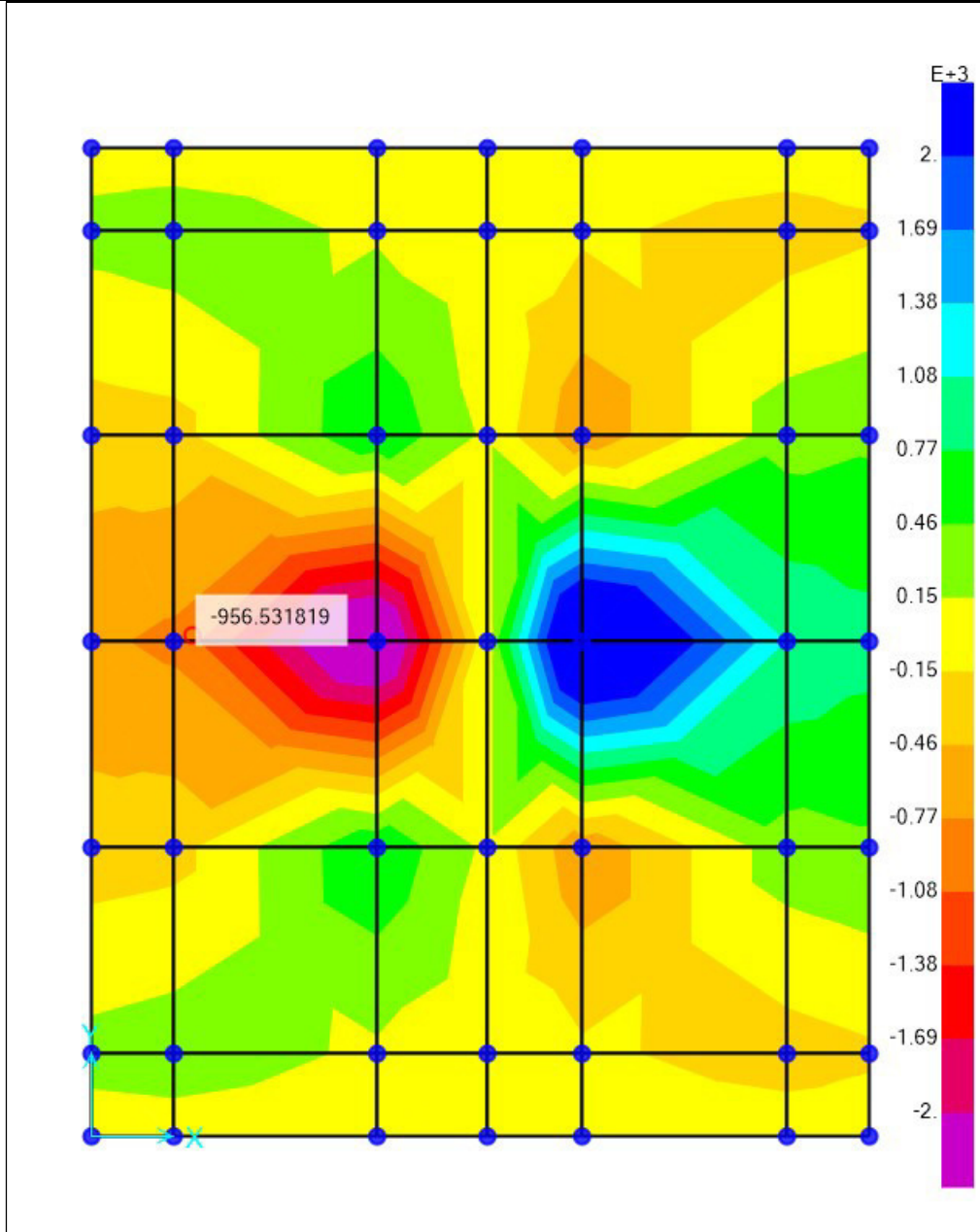
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	33 di 66



Modello Sap2000 – Shell – M11 - Combinazione Azione Longitudinale (armature orizzontali)

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

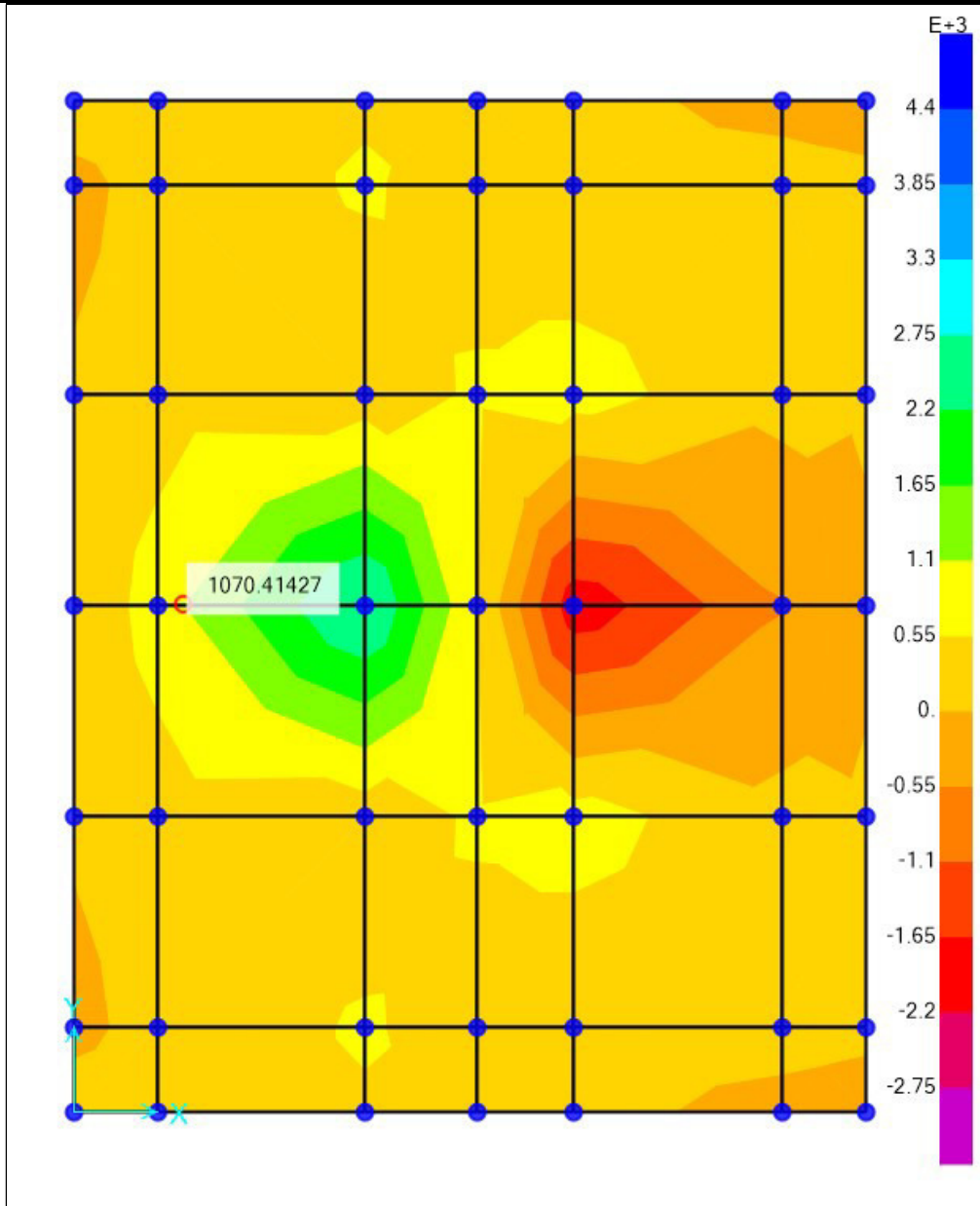
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	34 di 66



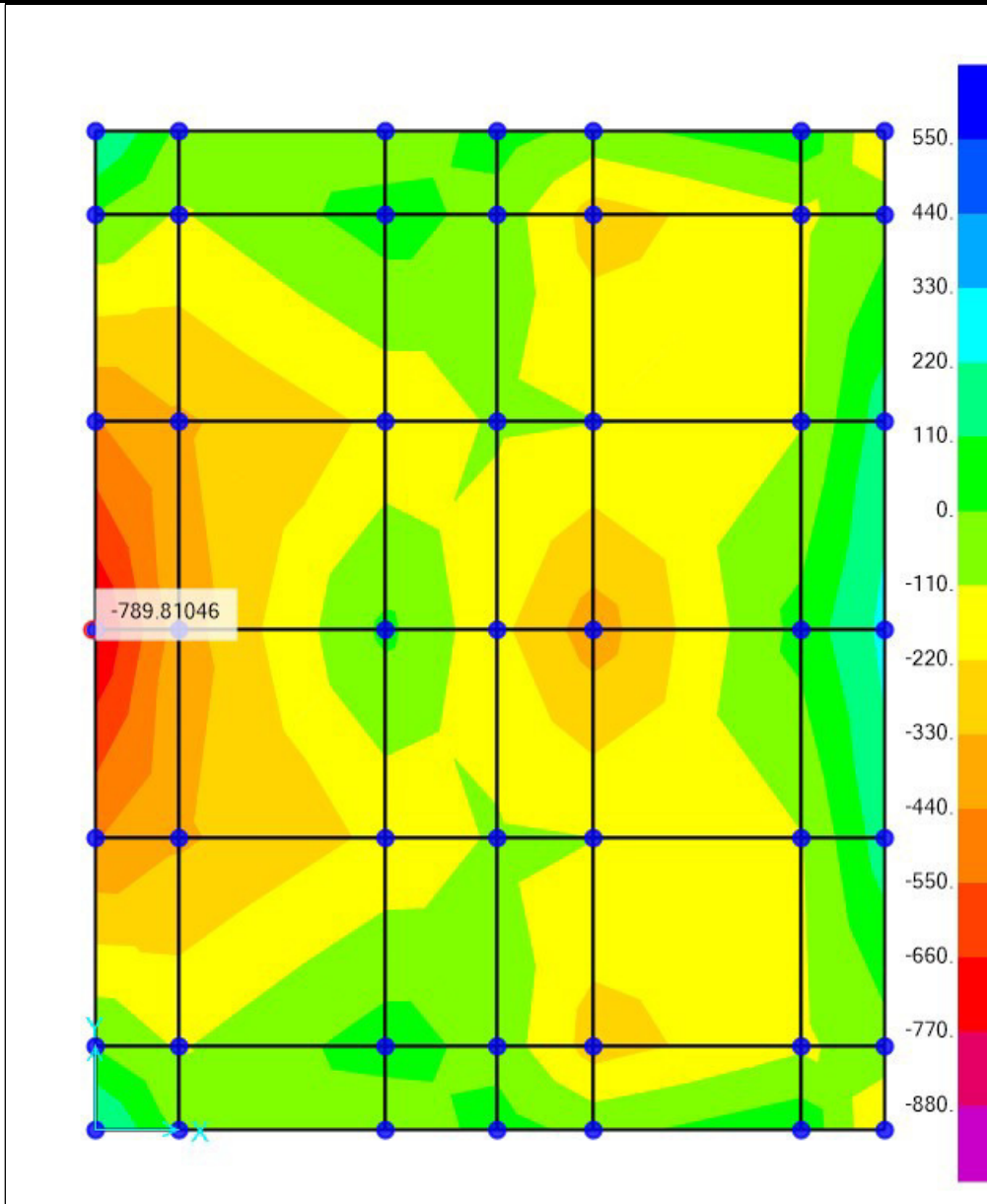
Modello Sap2000 – Shell – M22 - Combinazione Azione Longitudinale (armature verticali)

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	35 di 66



Modello Sap2000 – Shell – F11 - Combinazione Azione Longitudinale



Modello Sap2000 – Shell – F22 - Combinazione Azione Longitudinale

Mediante analisi alternativa con modello Sap2000 si sono ottenute delle sollecitazioni inferiori di quelle sviluppate nel tipologico, che venivano stimate con ampio margine di sicurezza: le verifiche del plinto di fondazione si ritengono pertanto confermate.

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	37 di 66

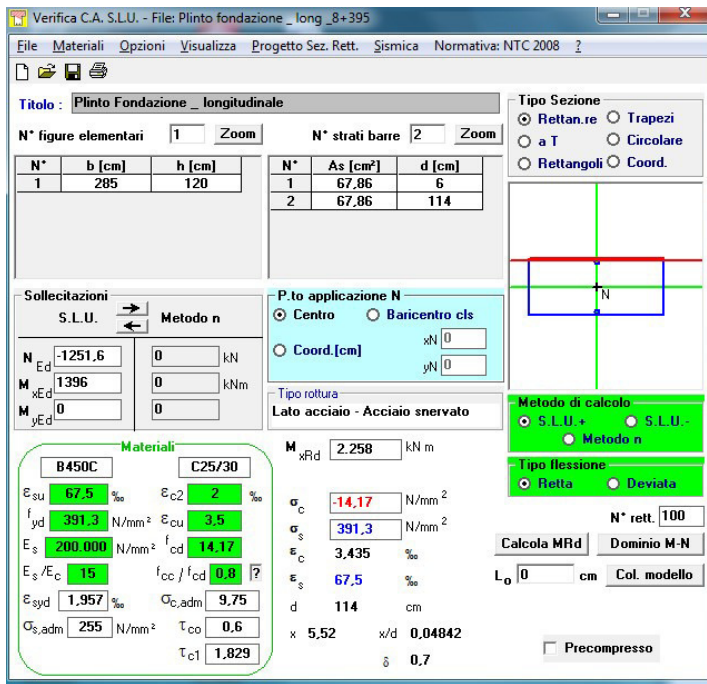
5.4.2 Verifica del plinto di fondazione in direzione longitudinale (sezione parallela a x locale)

La verifica del plinto di fondazione è stata eseguita rispetto le sollecitazioni più gravose trasferite dal blocco in cemento armato. Tali azioni si riferiscono agli assi locali del plinto stesso.

La fondazione è stata verificata a taglio ed a flessione.

Verifica a flessione

Plate	L/C	Sy	My
		[kN/m]	[kNm/m]
33	1 ECC_1	-1251.6	1395.932



Verifica C.A. S.L.U. - File: Plinto fondazione _long_8+395

Titolo: **Plinto Fondazione _longitudinale**

N° figure elementari: 1 | N° strati barre: 2

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	285	120	1	67.86	6
			2	67.86	114

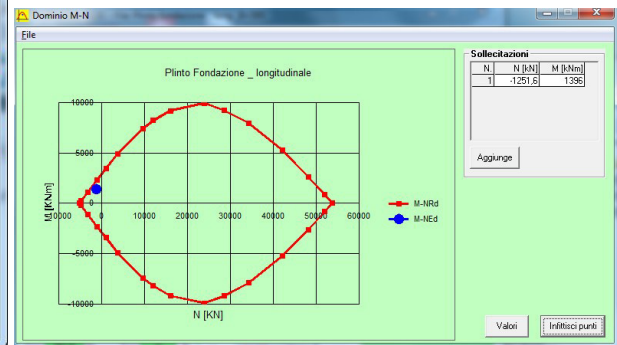
Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: -1251.6 kN
M_{xEd}: 1396 kNm
M_{yEd}: 0 kNm

Materiali: B450C, C25/30

Metodo di calcolo: S.L.U. + Metodo n

Calcola MRd | Dominio M-N



Barre inferiori:	15 Ø 24
Barre superiori:	15 Ø 24

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	38 di 66

Verifica a taglio

Plate	L/C	Qy
		[kN/m]
18	1 ECC_1	934.8

UNI EN 1992-1-1: 2005 NTC 2008				
VERIFICA A TAGLIO SEZIONI IN C.A. E C.A.P.				
V _{Ed}	TIPOLOGIA ARMATURA			
[kN]	[.]			
934.8	SEZIONE AD ARMATURA LENTA			
CALCESTRUZZO	f _{ck}	N _{ed}	γ _c	γ _{cc}
[.]	[MPa]	[kN]	[.]	[.]
C25/30	25.0	0	1.5	0.85
h	d	b _w	Ferri Tesi	ϕ
[mm]	[mm]	[mm]	[n°]	[mm]
1200.0	1140.0	1000.0	5.0	24
A _{sl}	σ _{cp}	ρ _l	k	f _{cd}
[mm ²]	[MPa]	[.]	[.]	[MPa]
2261.9	0.00	0.001984	1.418854	14.2
A _c	C _{Rd,C}	k ₁	v _{min}	(V _{Rd,C}) _{min}
[mm ²]	[.]	[.]	[MPa]	[kN]
1200000.0	0.12	0.15	0.30	337.2
V _{Rd,C}	CLS NON VERIFICATO			
[kN]				
337.2	NECESSARIA ARMATURA A TAGLIO			

I ferri longitudinali non sono sufficienti per resistere al taglio, pertanto si calcolano le necessarie legature.

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	39 di 66

DETTAGLI ARMATURA SPECIFICA A TAGLIO

STAFFE VERTICALI

ACCIAIO	f_{ck}	γ_s	ϕ_{staffe}	braccia
[..]	[MPa]	[..]	[mm]	[n°]
B 450C	450	1.15	24	2.5
passo	f_{yd}			$V_{Rd,S}$
[mm]	[MPa]			[kN]
300.0	391.3			1210.8
$\cotg(\alpha)$	rad	α	$\tan(\alpha)$	$V_{Rd,Max}$
[..]	[..]	[deg]	[..]	[kN]
1.0	0.785	45.0	1.000	3633.8
A_{sw}	f_{ywd}	z	$V_{Rd,C}$	$V_{Rd,S}$
[mm ²]	[MPa]	[mm]	[kN]	[kN]
1131.0	313.0	1026	3633.8	1210.8

VERIFICA ARMATURA SPECIFICA A TAGLIO

V_{Ed}	V_{Rd}	RATIO
[kN]	[kN]	[..]
934.8	1210.8	0.772

UNI EN 1992-1-1: 2005 / NTC 2008

UNI EN 1992: §§ 6.2.1 - 6.2.2 - 6.2.3
NTC 2008: §§ 4.1.2.1.3.1 - 4.1.2.1.3.2

ARMATURA SPECIFICA VERIFICATA

Si introducono legature di diametro $\Phi 24$ e passo 400/300, cioè con distanza 400 mm in direzione x e 300 mm in direzione y.

Riassumendo:

Legature:	$\Phi 24$
Passo legature:	400/300 mm

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	40 di 66

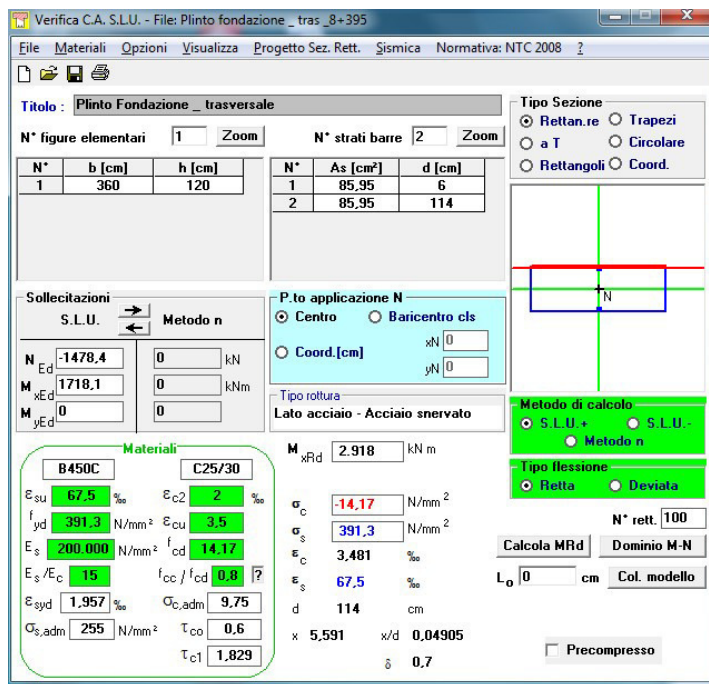
5.4.3 Verifica del plinto di fondazione in direzione trasversale (sezione parallela a y locale)

La verifica del plinto di fondazione è stata eseguita rispetto le sollecitazioni più gravose trasferite dal blocco in cemento armato. Tali azioni si riferiscono agli assi locali del plinto stesso.

La fondazione è stata verificata a taglio ed a flessione.

Verifica a flessione

Plate	L/C	Sx	Mx
		[kN/m]	[kNm/m]
18	1 ECC_1	-1478.4	1718.086



Verifica C.A. S.L.U. - File: Plinto fondazione _ tras _8+395

TITOLO: Plinto Fondazione _ trasversale

N° figure elementari: 1 **Zoom** **N° strati barre:** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	360	120	1	85.95	6
			2	85.95	114

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

Ed	N	MxEd	MyEd
	-1478.4	1718.1	0

Materiali

B450C **C25/30**

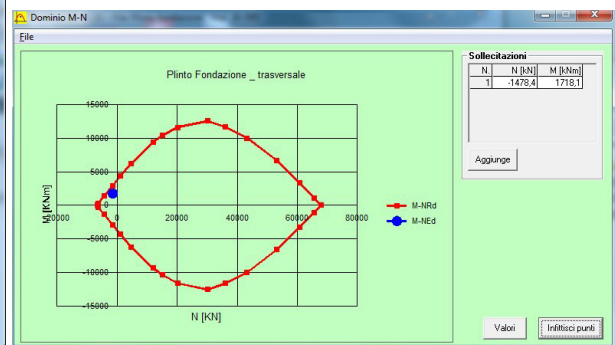
ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14.17 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 [?] τ_{c0} 0.6
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9.75
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{c1} 1.829

P.to applicazione N: Centro **Baricentro cls**
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U. **Metodo n**
Tipo flessione: Retta Deviata

Calcola MRd **Dominio M-N** **N° rett.** 100 **Col. modello**
 L₀ 0 cm **Precompresso**

M xRd 2.918 kN m
 σ_c -14.17 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.481 ‰
 ϵ_s 67.5 ‰
 d 114 cm
 x 5.591 x/d 0.04905
 δ 0.7



Barre inferiori:	19 Ø 24
Barre superiori:	19 Ø 24

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	41 di 66

Verifica a taglio

Plate	L/C	Qx
		[kN/m]
18	1 ECC_1	-2858.4

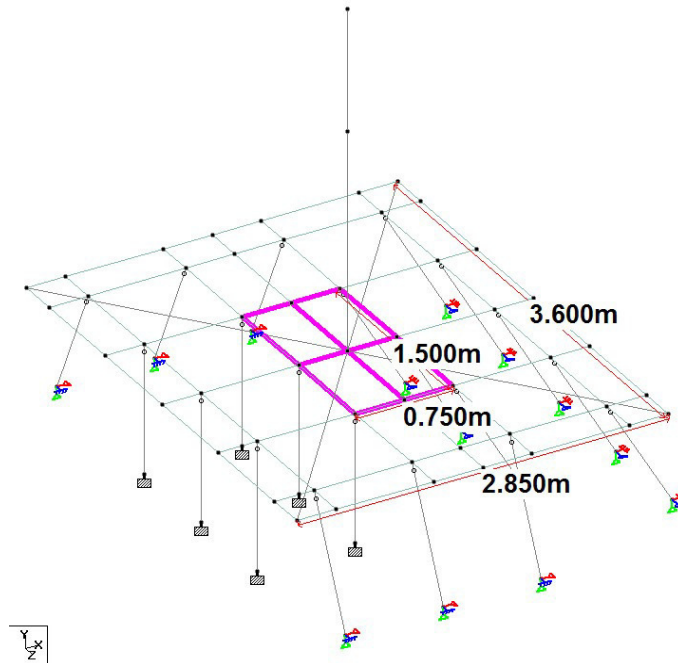
UNI EN 1992-1-1: 2005 NTC 2008				
VERIFICA A TAGLIO SEZIONI IN C.A. E C.A.P.				
V _{Ed}	TIPOLOGIA ARMATURA			
[kN]	[.]			
2858.4	SEZIONE AD ARMATURA LENTA			
CALCESTRUZZO	f _{ck}	N _{ed}	γ _c	γ _{cc}
[.]	[MPa]	[kN]	[.]	[.]
C25/30	25.0	0	1.5	0.85
h	d	b _w	Ferri Tesi	ϕ
[mm]	[mm]	[mm]	[n°]	[mm]
1200.0	1140.0	1000.0	5.0	24
A _{sl}	σ _{cp}	ρ _l	k	f _{cd}
[mm ²]	[MPa]	[.]	[.]	[MPa]
2261.9	0.00	0.001984	1.418854	14.2
A _c	C _{Rd,C}	k ₁	v _{min}	(V _{Rd,C}) _{min}
[mm ²]	[.]	[.]	[MPa]	[kN]
1200000.0	0.12	0.15	0.30	337.2
V _{Rd,C}	CLS NON VERIFICATO			
[kN]				
337.2	NECESSARIA ARMATURA A TAGLIO			

I ferri longitudinali non sono sufficienti per resistere al taglio, pertanto si calcolano le necessarie legature.

Si tiene conto del fatto che lo sforzo tagliante massimo riguarda soltanto la porzione di plinto centrale. Tale zona viene indicata nella figura seguente:

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	42 di 66



Quindi, in quest'area la verifica a taglio risulta soddisfatta introducendo legature di diametro $\Phi 24$ e passo 200/200, cioè con distanza 200 mm in direzione x e 200 mm in direzione y.

DETTAGLI ARMATURA SPECIFICA A TAGLIO				
STAFFE VERTICALI				
ACCIAIO	f_{ck}	η_s	staffe	braccia
[..]	[MPa]	[..]	[mm]	[n°]
B 450C	450	1.15	24	5
passo	f_{yd}			$V_{Rd,S}$
[mm]	[MPa]			[kN]
200.0	391.3			3632.5
$\cotg(\alpha)$	rad		$\tan(\alpha)$	$V_{Rd,Max}$
[..]	[..]	[deg]	[..]	[kN]
1.0	0.785	45.0	1.000	3633.8
A_{sw}	f_{ywd}	z	$V_{Rd,C}$	$V_{Rd,S}$
[mm ²]	[MPa]	[mm]	[kN]	[kN]
2261.9	313.0	1026	3633.8	3632.5

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	43 di 66

VERIFICA ARMATURA SPECIFICA A TAGLIO

V_{Ed}	V_{Rd}	RATIO
[kN]	[kN]	[..]
2858.4	3632.5	0.787
UNI EN 1992-1-1: 2005 / NTC 2008		
UNI EN 1992: §§ 6.2.1 - 6.2.2 - 6.2.3		
NTC 2008: §§ 4.1.2.1.3.1 - 4.1.2.1.3.2		
ARMATURA SPECIFICA VERIFICATA		

Nelle zone restanti invece, il taglio massimo è pari a 1083.6 kN, pertanto bastano legature di diametro $\Phi 24$ e passo 300/400, cioè con distanza 300 mm in direzione y e 400 mm in direzione x.

DETTAGLI ARMATURA SPECIFICA A TAGLIO

STAFFE VERTICALI

ACCIAIO	f_{ck}	α_s	α_{staffe}	braccia
[..]	[MPa]	[..]	[mm]	[n°]
B 450C	450	1.15	24	3.3
passo	f_{yd}			$V_{Rd,S}$
[mm]	[MPa]			[kN]
400.0	391.3			1198.7
cotg	rad		tan	$V_{Rd,Max}$
[..]	[..]	[deg]	[..]	[kN]
1.0	0.785	45.0	1.000	3633.8
A_{sw}	f_{ywd}	z	$V_{Rd,C}$	$V_{Rd,S}$
[mm ²]	[MPa]	[mm]	[kN]	[kN]
1492.9	313.0	1026	3633.8	1198.7

VERIFICA ARMATURA SPECIFICA A TAGLIO

V_{Ed}	V_{Rd}	RATIO
[kN]	[kN]	[..]
1083.6	1198.7	0.904
UNI EN 1992-1-1: 2005 / NTC 2008		
UNI EN 1992: §§ 6.2.1 - 6.2.2 - 6.2.3		
NTC 2008: §§ 4.1.2.1.3.1 - 4.1.2.1.3.2		
ARMATURA SPECIFICA VERIFICATA		

Riassumendo:

Legature:	$\Phi 24$
Passo legature zone laterali:	300/400 mm
Passo legature zone centrali:	200/200 mm

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

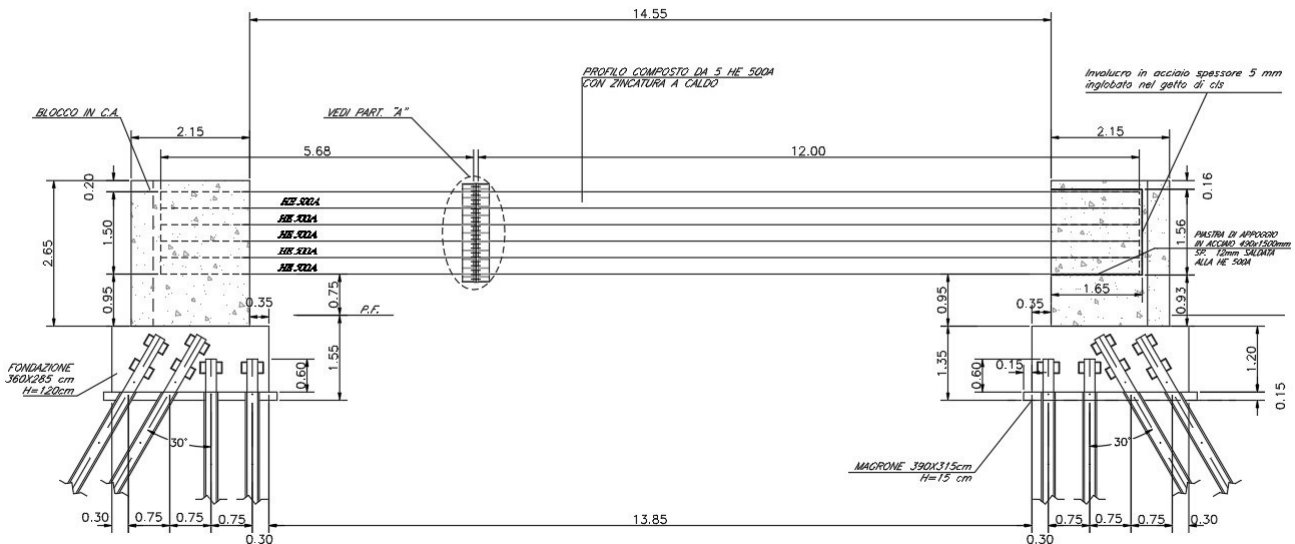
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	44 di 66

5.5 Verifiche dei micropali di fondazione

La fondazione dell'opera di protezione è costituita da un plinto di spessore pari a 1.2 m fondato su una palificata di micropali di diametro $\phi 300$ e lunghezza 18 m. In particolare, la palificata è composta da 20 micropali eseguiti con iniezioni ripetute (IRS) di cui 6 disposti verticalmente e 14 disposti con un'inclinazione di 25-30°, come mostrato nelle figure seguenti:

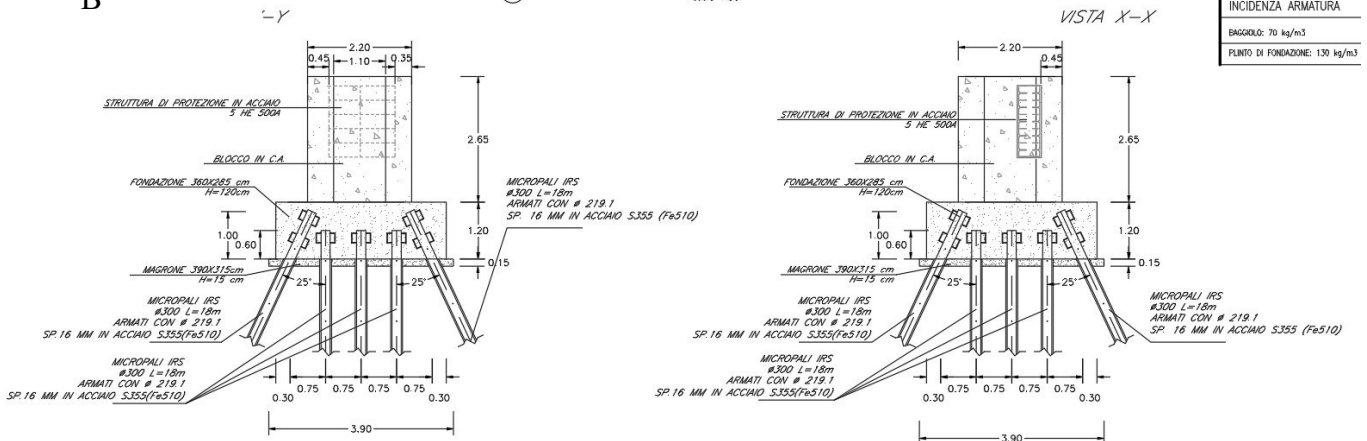
STRUTTURA DI PROTEZIONE SPALLE ESISTENTI - SEZIONE LONGITUDINALE
scala 1:50

A



B

STRUTTURA DI PROTEZIONE SPALLE ESISTENTI TIPOLOGIA - SEZIONI TRASVERSALI
scala 1:50



Struttura di protezione – Sezione longitudinale (figura A) e sezioni trasversali (figura B)

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	45 di 66

L'armatura dei micropali prevede un profilo tubolare in acciaio S355 con diametro $\Phi 219.1$ e spessore 16 mm.

In questo capitolo sono illustrate le verifiche strutturali e geotecniche eseguite sul singolo micropalo.

La stratigrafia di progetto utilizzata per le verifiche viene riportata nella tabella sottostante. Per i dettagli sulla stima dei parametri geotecnici utilizzati e le correlazioni con i risultati delle indagini in sito e di laboratorio riferirsi alla Relazione Geotecnica Generale (codice elaborato NR1J00D29GEGE0005001A) :

Tipo di Terreno	Profondità da p.c. [m]	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	C_u [kPa]	E_{op} [MPa]
Limo sabbioso deb. argilloso	0 ÷ 9	16	26	-	35	15
Sabbia limoso argillosa	9 ÷ 25	16	28	0	-	20

Per quanto riguarda le sollecitazioni che agiscono su ciascun micropalo sono state ricavate dal modello agli elementi finiti precedentemente descritto in cui i micropali sono stati modellati con degli elementi *frames* e *joints* a cui sono state assegnate delle *springs* per simulare l'interazione terreno-struttura.

Per i terreni coesivi il coefficiente di reazione del terreno k_h è stato correlato alla coesione non drenata mediante l'espressione proposta da Davisson (1970):

$$k_h = 67 C_u / d \sim 10 \text{ MN/m}^3$$

Mentre per i terreni incoerenti k_h è stato stimato utilizzando la formulazione associata a Reese e Matlock (1956) in cui k_h cresce linearmente con la profondità:

$$k_h = n_h z / d = 160 \text{ MN/m}^3 \quad (z = 12 \text{ m})$$

dove n_h dipende dallo stato di addensamento del terreno e dalla presenza o meno della falda, per sabbia media secca o umida può assumersi: $n_h = 21 \text{ ton/ft}^3 \sim 4 \text{ MN/m}^3$

Densità relativa	Sciolta	Media	Densa
Intervallo dei valori di A	100-300	300-1000	1000-2000
Valori di A adottati	200	600	1500
n_h , sabbia secca o umida	7	21	56
n_h , sabbia satura	4	14	34

* Secondo Terzaghi (1955).

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	46 di 66

Le verifiche geotecniche e strutturali sono state effettuate rispetto alle sollecitazioni massime agenti sui micropali ricavate dalla modellazione descritta nei capitoli precedenti:

$F_x = 1200 \text{ kN}$ massima compressione sul micropalo

$F_x = -1200 \text{ kN}$ massima trazione sul micropalo

$F_{y,z} = 130 \text{ kN}$ massimo taglio sul micropalo

5.5.1 Verifica strutturale

La verifica è condotta col metodo delle tensioni, pertanto:

$$\sigma_{id} < \frac{f_{yk}}{\gamma}$$

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

$$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$$

$$\tau = T/A_{taglio}$$

$$\sigma_{max} = 327,68 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{min} = -92,38 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\tau = 12,75 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{id} = 328,42 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{verifica soddisfatta}$$

5.5.2 Carico Limite nei riguardi dei carichi verticali

La verifica della capacità portante dei micropali è soddisfatta se:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo	COMMESSA NR1J	LOTTO 01	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO IV 00 00 001	REV. A

$$F_{cd} < R_{cd}$$

essendo

$$R_{cd} = R_k / \gamma_R$$

dove:

F_{cd} = carico assiale di compressione di progetto

R_{cd} = capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali

R_k = valore caratteristico della capacità portante limite del palo

Le verifiche agli stati limite ultimi vengono condotte con riferimento all'approccio (A1+M1+R3).

Il valore di progetto R_{cd} della resistenza a carico verticale si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R della seguente tabella.

Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche sono:

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Inoltre, come riportato nelle NTC2018, se la resistenza caratteristica R_k del palo viene ricavata attraverso correlazioni empiriche che prevedono l'utilizzo di parametri geotecnici o risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ (o $R_{t,k}$) sarà dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate $R_{c,cal}$ (o $R_{t,cal}$) i fattori di correzione (ξ) riportati nella seguente tabella in funzione del numero di verticali d'indagine.

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	48 di 66

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

I fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate:

Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Nella scelta dei fattori di correlazione da utilizzare nelle verifiche geotecniche si è tenuto conto dell'incertezza stratigrafica dovuta alla disponibilità di un solo sondaggio nell'area di interesse. Inoltre il sondaggio di riferimento, denominato S01-PZ, è stato eseguito alla pk 28+922, quindi a circa 900 m di distanza dall'opera di protezione. Si ritiene opportuno, in fase di progettazione esecutiva, di effettuare ulteriori indagini al fine di ridurre le incertezze stratigrafiche e ottimizzare il progetto dell'opera.

I coefficienti parziali da applicare alle resistenze geotecniche caratteristiche vengono riassunti nella seguente tabella:

Resistenza	γ_R	ξ
	(R3)	(n. verticali indagate=1)
Laterale in compressione $\gamma_{s,comp}$	1,15	1,70
Laterale in trazione $\gamma_{s,traz}$	1,25	1,70
Base γ_b	1,35	1,70

Per il calcolo della capacità portante dei micropali in compressione si considera il contributo fornito dalla base pari al 10% della resistenza laterale. Inoltre visto il limitato diametro dell'elemento viene trascurato il termine W'_p peso efficace del palo (al netto del peso del terreno asportato). Pertanto, dal metodo di Bustamante e Doix risulta:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE					
	Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo	COMMESSA NR1J	LOTTO 01	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO IV 00 00 001	REV. A

$$Q_{lim} = Q_{bl} / F_{Sb} + Q_{ll} / F_{Sl,comp}$$

dove:

Q_{ll} = portata laterale limite

Q_{bl} = portata di base limite = 10% Q_{ll}

F_{Sb} = fattore di sicurezza per la resistenza di base = $\gamma_b \cdot \xi$

$F_{Sl,comp}$ = fattore di sicurezza per la resistenza laterale in compressione = $\gamma_{s,comp} \cdot \xi$

La capacità portante in trazione risulta:

$$Q_{lim} = Q_{ll} / F_{Sl,traz}$$

dove:

$F_{Sl,traz}$ = fattore di sicurezza per la resistenza laterale in trazione = $\gamma_{s,traz} \cdot \xi$

Per ciascun micropalo, la portanza laterale limite è calcolata considerando il diametro della perforazione D_s e le tensioni di progetto di adesione laterale limite micropalo-terreno s_i , si ottiene quindi:

$$Q_{ll} = \sum_i \pi D_{si} L_{si} s_i$$

dove:

$D_s = \alpha D$. Il coefficiente α dipende dalla tipologia di iniezione e dalla litologia del terreno:

TERRENO	Valori di α	
	IRS	IGU
Ghiaia	1,8	1.3 - 1.4
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2

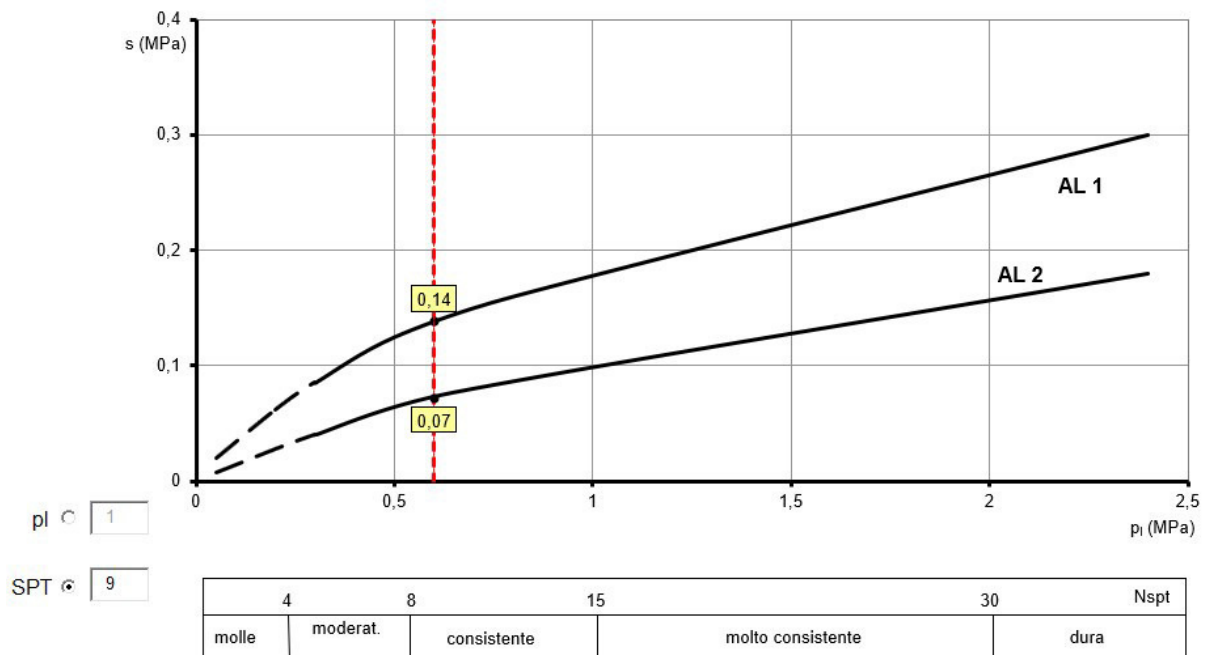
Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	50 di 66

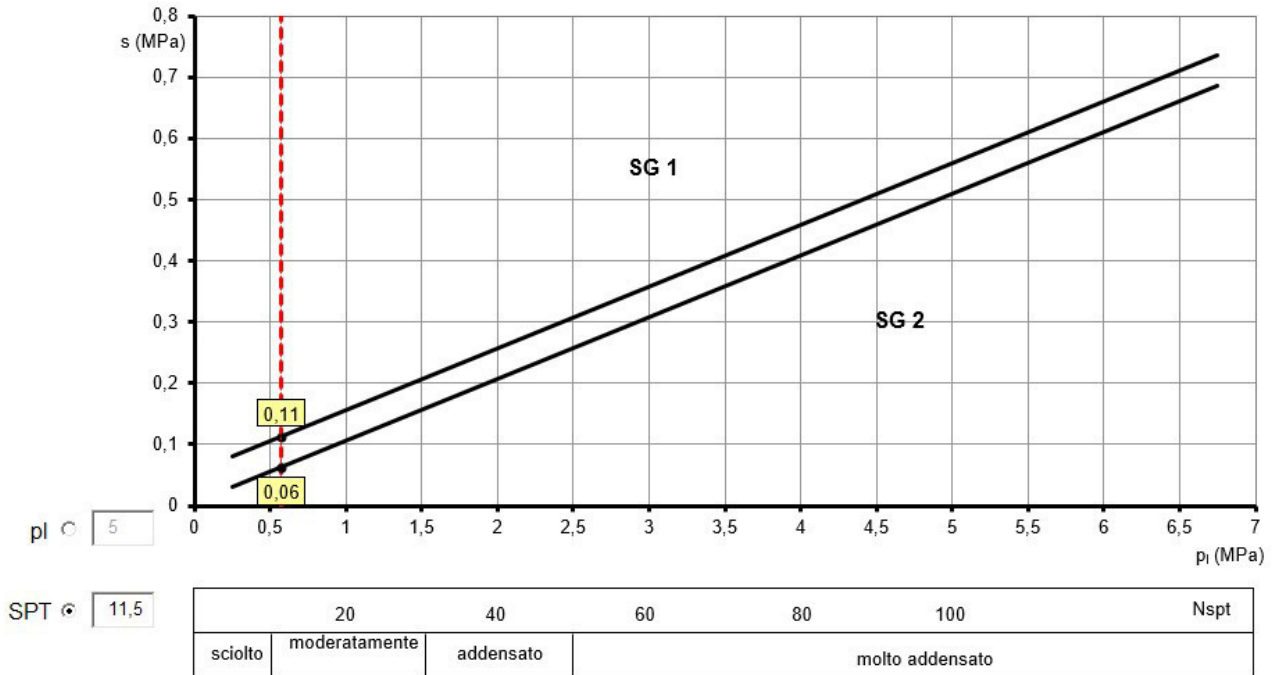
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2
Argilla	1.8 - 2.0	1,2
Marne	1,8	1.1 - 1.2
Calcarei marnosi	1,8	1.1 - 1.2
Calcarei alterati o fratturati	1,8	1.1 - 1.2
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1

Il valore della τ (detta anche s) è stato definito in base alla litologia, al tipo di iniezione e al numero dei colpi derivante dalle prove SPT mediante i seguenti abachi:

Abaco per il calcolo di s per argille e limi



Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie



TERRENO	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R1$	$\geq R2$

La tecnologia con cui verranno realizzati i micropali sarà mediante iniezione di malta cementizia con il metodo I.R.S. (Iniezione Ripetute e Selettive).

Il valore della τ (detta anche s) e quello di α sono stati forniti da input preliminare al progetto in questione:

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	52 di 66

Tipo di Terreno	α (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	s_i (MPa)
Limo sabbioso deb. argilloso	1,40	0,42	0,140
Sabbia limoso argillosa	1,40	0,42	0,110

Cautelativamente si trascura la portanza dei primi 1.2 m da testa micropalo.

La capacità portante di micropali di lunghezza pari a 18 m in compressione e in trazione risulta:

Carico limite in compressione [kN]	1365
Carico limite in trazione [kN]	1255

Riassumendo i risultati ottenuti:

COMBINAZIONE	L	F _x	F _x	Q _{LIM}	Q _{LIM}	FS	FS
	[m]	COMPRESSIONE	TRAZIONE	COMPRESSIONE	TRAZIONE	COMPRESSIONE	TRAZIONE
		kN	kN	kN	kN	-	-
A1+M1+R3	18	1200	1200	1365	1255	1,14	1,05

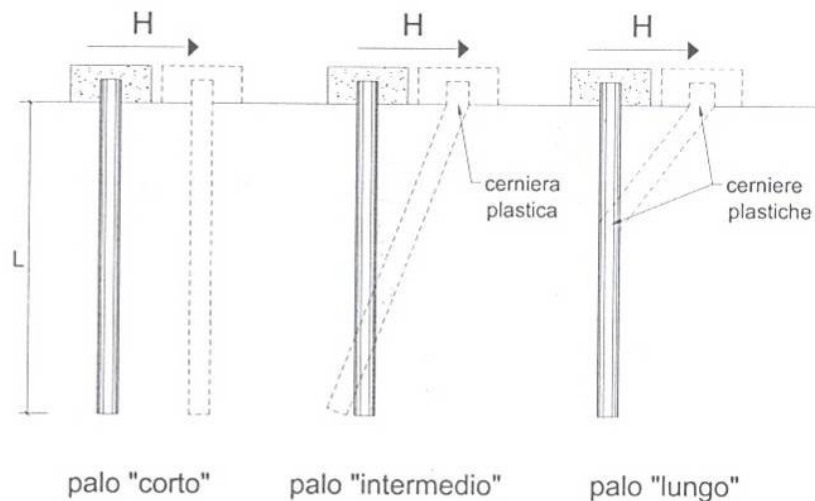
I tabulati di calcolo vengono riportati in Appendice A.

5.5.3 Carico Limite nei riguardi dei carichi trasversali

La resistenza del complesso palo terreno nei confronti delle azioni trasversali è stata calcolata secondo la teoria proposta da Broms (1964).

In generale il massimo carico trasversale esperibile dal palo dipende dalla geometria (lunghezza, diametro), dalle condizioni di vincolo in testa del palo, dalle caratteristiche strutturali del palo (momento di plasticizzazione M_y), dalla resistenza del terreno e dal meccanismo di rottura, ovvero dalla eventuale formazione di cerniere plastiche lungo il fusto del palo che avviene quando in una data sezione il momento agente eguaglia il momento di plasticizzazione. I pali si considerano sempre incastrati in testa.

I possibili meccanismi di rottura possono essere indicati come rottura a palo "corto", "intermedio" e "lungo", come riportato nella figura seguente.



Come momento di plasticizzazione si considera quello della sola armatura tubolare di diametro 219.1 mm e spessore 16.0 mm.

d [mm]	s [mm]	f _{yk} [N/mm ²]	γ _m	M _y [kNm]
219,1	16	355	1	227,4

Per i terreni di tipo coesivo, facendo ricorso a semplici equazioni di equilibrio ed imponendo la formazione di una cerniera plastica nelle sezioni che raggiungono un momento di plasticizzazione pari a $M_{y,pl}$, è possibile calcolare il carico limite orizzontale corrispondente ai tre meccanismi di rottura:

palo corto: $H_{lim,a,k} = 9 c_{u,k} d^2 \left(\frac{L}{d} - 1.5 \right)$

palo intermedio: $H_{lim,a,k} = c_{u,k} d^2 \left[-9 \left(\frac{L}{d} + 1.5 \right) + 9 \sqrt{2 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4 M_{y,pl}}{9 c_{u,k} d^3} + 4.5} \right]$

palo lungo: $H_{lim,a,k} = c_{u,k} d^2 \left[-13.5 + \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_{y,pl}}{c_{u,k} d^3}} \right]$

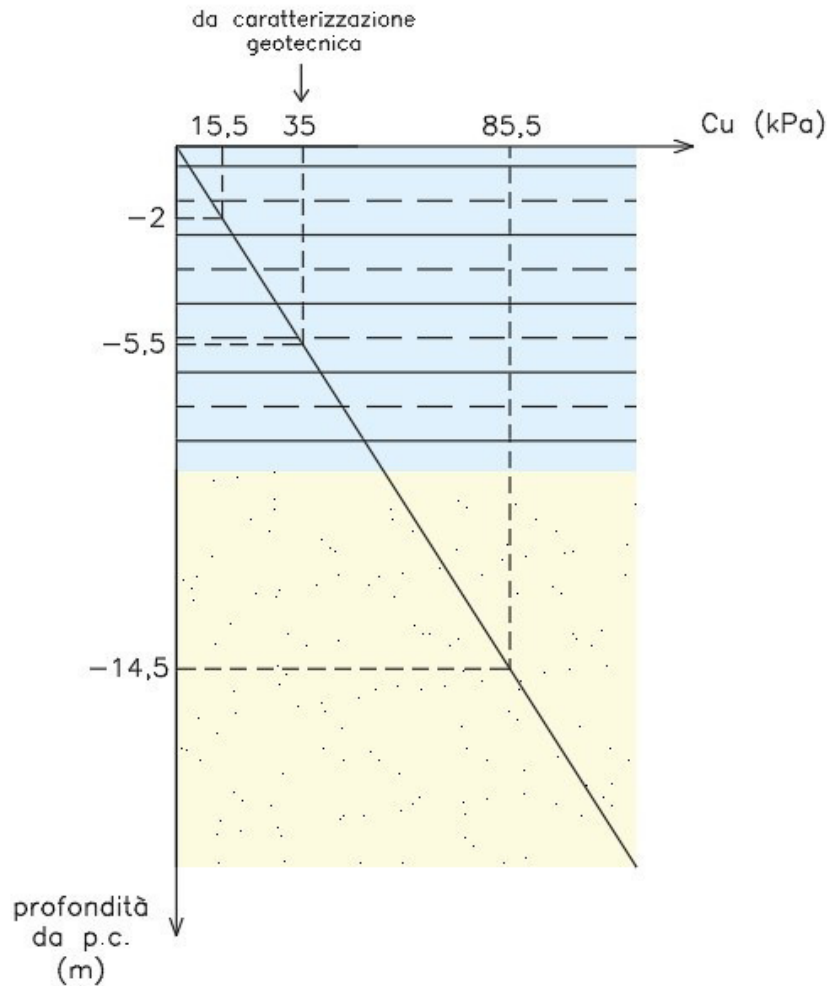
Come richiesto dalle NTC2018 per il calcolo del carico limite orizzontale si utilizza la combinazione A1+M1+R3 e si considerano i coefficienti parziali sulle resistenze $\gamma_t = 1.3$ e $\xi = 1.70$ (1 verticale indagata).

Essendo i terreni di natura prevalentemente coesiva, la verifica è stata svolta in condizioni non drenate in termini di tensioni totali considerando le seguenti caratteristiche del terreno:

Tipo di Terreno	Profondità da p.c. [m]	Cu_{MEDIO} [kPa]
Limo sabbioso deb. Argilloso/ Sabbia limoso argillosa	0 ÷ 20	50

Si considerano micropali lunghi 18 m intestati a circa -2 m da p.c..

Il valore medio della coesione non drenata pari a 50 kPa è riferito alla fascia di profondità in cui interagiscono micropalo e terreno. Partendo dai valori di riferimento derivanti dalla caratterizzazione geotecnica ($Cu=35$ kPa), tale valore è stato valutato ipotizzando un incremento lineare della resistenza con la profondità come schematizzato di seguito:



Dalle verifiche di portanza orizzontale si ottiene pertanto:

Hk,palo corto [kN]	Hk,palo intermedio [kN]	Hk,palo lungo [kN]	γ_t (R3)	ξ	Hd [kN]	Fd [kN]	FS
2369,25	964,67	294,88	1,3	1,7	133,43	130	1,03

essendo: $H_d = \min(H_k \text{ corto}, H_k \text{ intermedio}, H_k \text{ lungo}) / \gamma_t \xi$

Si verifica che il meccanismo di rottura è a "palo lungo", cioè la rottura si verifica con la formazione di due cerniere plastiche, una in testa ed una più in profondità lungo il fusto.

I tabulati di calcolo vengono riportati in Appendice A.



RADDOPPIO LINEA FERROVIARIA ROMA-VITERBO
TRATTA CESANO-VIGNA DI VALLE

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	56 di 66

APPENDICE A - TABULATI DI CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL SINGOLO MICROPALO

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
NR1J 01 D 29 CL IV 00 00 001 A 57 di 66

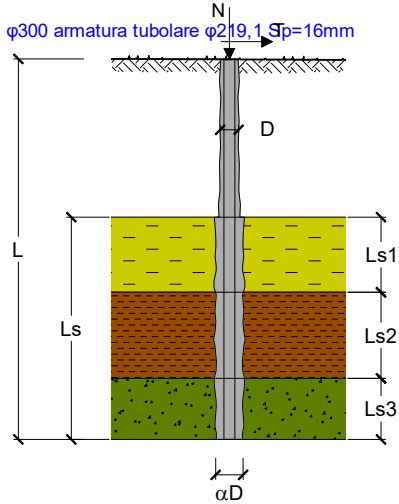
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: CAPACITA' PORTANTE A COMPRESSIONE Micropali $\phi 300$ armatura tubolare $\phi 219,1$ Sp=16mm

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	1200,00	0,00	1200,00
T (kN)	130,00	0,00	130,00



coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_s	γ_s traz
			γ_G	γ_Q		
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,00	1,00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1,00	1,30	1,45	1,60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,15	1,25
	SISMA	<input type="radio"/>	1,00	1,00	1,15	1,25
DM88			1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista			1,00	1,00	1,15	1,25

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10	DM88	prog.
ξ_s	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ_t	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): **0,3 (m)**

Lunghezza del micropalo (L): **18,00 (m)**

Armatura:

IPE
 INP
 HEA
 HEB
 HEM
 Tubi
 ALTRO

IPE 180 INP 160 HEA 300 HEB 160 HEM 200 $\phi 219,1 \times 15,0$

Area dell'armatura (Aarm): **(mm²) 10200**

Area a taglio (Ataglio): **(mm²) 10200**

Momento di inerzia della sezione di armatura (Jarm): **(mm⁴) 5,30E+07**

Modulo di resistenza della sezione di armatura (Warm): **(mm³) 483000**

Dimensione Armatura (Darm): **(mm) 219,1**

Tipo di acciaio **S 355 (Fe 510)**

Tensione di snervamento dell'acciaio (fy): **355 (N/mm²)**

Coefficiente Parziale Acciaio γ_M : **1**

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{lim}): **355 (N/mm²)**

Modulo di elasticità dell'acciaio (E_{arm}): **210.000 (N/mm²)**

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	58 di 66

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): **25,0** (MN/m³)

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto

$$Ql = \sum_i \alpha_i \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot ls_i$$

Tipo di Terreno	Spessore ls_i (m)	α_i (-)	$Ds_i = \alpha_i \cdot D$ (m)	s_i media (MPa)	s_i minima (MPa)	s_i calcolo (MPa)	Qs_i (kN)
SL	1,20	0,00	0,00	0,140	0,140	0,072	0,00
SL	5,80	1,40	0,42	0,140	0,140	0,072	548,04
LSA	11,00	1,40	0,42	0,110	0,110	0,056	816,65

$Ls = 18,00$ (m) $Ql = 1364,69$ (kN)

Capacità portante di punta

$Qp = \%Punta \cdot Ql$ (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 10\%$ $Qp = 136,47$ (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$$Qlim = Qb + Ql$$

$Qlim = 1501,16$ (kN)

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$$Fs = Qlim / N \quad (Fs > 1)$$

$Fs = 1,25$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k^2 D_{arm}$): **5,48** (N/mm²)

$$Pk = 2 \cdot \alpha \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}^{0,5} \quad \alpha = Pk / N \quad (\text{consigliato } \alpha > 10)$$

$Pk = 15611,54$ (MN) $\alpha = 13,01$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

Momento massimo per carichi orizzontali (M):
(ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

$b = 0,641$ (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 101,44$ (kN m)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

$$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$$

$$\tau = T/A_{taglio}$$

$\sigma_{max} = 327,68$ (N/mm²) $\sigma_{min} = -92,38$ (N/mm²)

$\tau = 12,75$ (N/mm²)

$$\sigma_d = (\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)^{0,5}$$

$\sigma_d = 328,42$ (N/mm²) **verifica soddisfatta**

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	59 di 66

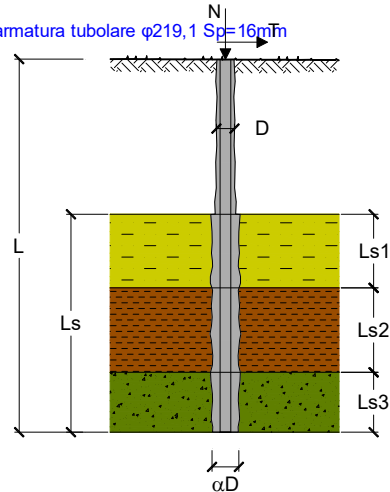
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: CAPACITA' PORTANTE A TRAZIONE Micropali $\phi 300$ armatura tubolare $\phi 219,1$ Sp=16mm

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	1200,00	0,00	1200,00
T (kN)	130,00	0,00	130,00



coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_s	γ_s traz
			γ_G	γ_Q		
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,00	1,00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1,00	1,30	1,45	1,60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,15	1,25
	SISMA	<input type="radio"/>	1,00	1,00	1,15	1,25
DM88			1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista			1,00	1,00	1,25	1,25

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10	DM88	prog.
ξ_s	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ_t	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): 0,3 (m)

Lunghezza del micropalo (L): 18,00 (m)

Armatura:

IPE
 INP
 HEA
 HEB
 HEM
 Tubi
 ALTRO

IPE 180 INP 160 HEA 300 HEB 160 HEM 200 $\phi 193,7 \times 5,0$

Area dell'armatura (A_{arm}): (mm²) 10200
Area a taglio (A_{taglio}): (mm²) 10200
Momento di inerzia della sezione di armatura (J_{arm}): (mm⁴) 5,30E+07
Modulo di resistenza della sezione di armatura (W_{arm}): (mm³) 483000
Dimensione Armatura (D_{arm}): (mm) 219,1

Tipo di acciaio

Tensione di snervamento dell'acciaio (f_y): 355 (N/mm²)
Coefficiente Parziale Acciaio γ_M : 1
Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{lim}): 355 (N/mm²)
Modulo di elasticità dell'acciaio (E_{arm}): 210.000 (N/mm²)

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	60 di 66

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): **25,0** (MN/m³)

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto

$$QI = \sum_i \sigma_i \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot Is_i$$

Tipo di Terreno	Spessore Is_i (m)	σ_i (-)	$Ds_i = \sigma_i \cdot D$ (m)	s_i media (MPa)	s_i minima (MPa)	s_i calcolo (MPa)	Qs_i (kN)
SL	1,20	0,00	0,00	0,100	0,100	0,047	0,00
SL	5,80	1,40	0,42	0,140	0,140	0,066	504,19
LSA	11,00	1,40	0,42	0,110	0,110	0,052	751,32

$Ls = 18,00$ (m) $QI = 1255,51$ (kN)

Capacità portante di punta

$Qp = \%Punta \cdot QI$ (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 0\%$ $Qp = 0,00$ (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$$Qlim = Qb + QI$$

$$Fs = Qlim / N \quad (Fs > 1)$$

$Qlim = 1255,51$ (kN)

$Fs = 1,05$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$): **5,48** (N/mm²)

$$Pk = 2 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm} \cdot \beta^2 \quad \sigma = Pk / N \quad (\text{consigliato } \sigma > 10)$$

$Pk = 15611,54$ (MN) $\sigma = 13,01$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

Momento massimo per carichi orizzontali (M):
(Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

$b = 0,641$ (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 101,44$ (kN m)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

$$\sigma = N / A_{arm} \pm M / W_{arm}$$

$$\tau = T / A_{taglio}$$

$\sigma_{max} = 327,68$ (N/mm²) $\sigma_{min} = -92,38$ (N/mm²)

$\tau = 12,75$ (N/mm²)

$$\sigma_d = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0,5}$$

$\sigma_d = 328,42$ (N/mm²) **verifica soddisfatta**

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

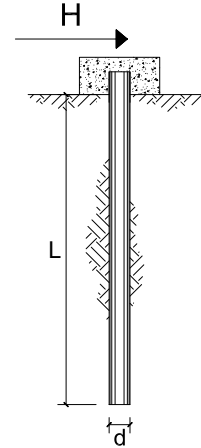
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	61 di 66

CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI COESIVI
PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA

OPERA: Comb. A1+M1+R3

TEORIA DI BASE:
(Broms, 1964)

coefficienti parziali			A		M	R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_{cu}	γ_T
			γ_G	γ_Q		
S.U.	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,00	1,00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1,00	1,30	1,00	1,60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,00	1,30
	SISMA	<input type="radio"/>	1,00	1,00	1,00	1,30
DM88			<input type="radio"/>	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista			<input checked="" type="radio"/>	1,00	1,00	1,30



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

Palo corto:
$$H = 9c_u d^2 \left(\frac{L}{d} - 1.5 \right)$$

Palo intermedio:
$$H = -9c_u d^2 \left(\frac{L}{d} + 1.5 \right) + 9c_u d^2 \sqrt{2 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4 M_y}{9 c_u d^3} + 4.5}$$

Palo lungo:
$$H = -13.5c_u d^2 + c_u d^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u d^3}}$$

DATI DI INPUT:

Lunghezza del palo	L =	18,00	(m)		
Diametro del palo	d =	0,30	(m)		
Momento di plasticizzazione della sezione	M_y =	227,37	(kN m)		
Coesione non drenata	$c_{u, med}$ =	50,00	(kPa)	$c_{u, min}$ =	50,00 (kPa)
Coesione non drenata di progetto	$c_{u, med, d}$ =	50,00	(kPa)	$c_{u, min, d}$ =	50,00 (kPa)
Carico Assiale Permanente (G):	G =	0	(kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	130	(kN)		

Palo corto:

$H1_{med} = 2369,25$ (kN) $H1_{min} = 2369,25$ (kN)

Palo intermedio:

$H2_{med} = 964,67$ (kN) $H2_{min} = 964,67$ (kN)

Palo lungo:

$H3_{med} = 294,88$ (kN) $H3_{min} = 294,88$ (kN)

$H_{med} = 294,88$ (kN) palo lungo $H_{min} = 294,88$ (kN) palo lungo

$H_k = \text{Min}(H_{med}, R_{min}) = 173,46$ (kN)

$H_d = H_k \cdot \gamma_T = 133,43$ (kN)

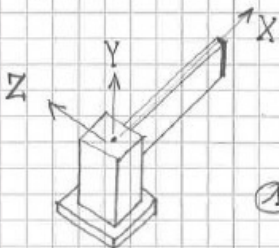
$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 130,00$ (kN)

$FS = H_d / F_d = 1,03$

5.6 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

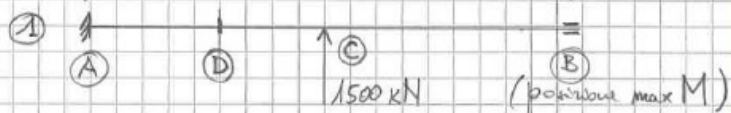
GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ
DEI RISULTATI

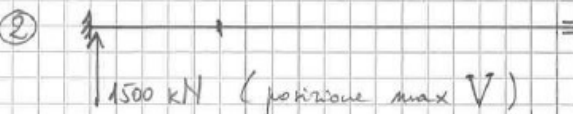
Analisi delle sollecitazioni indotte dall'urto:

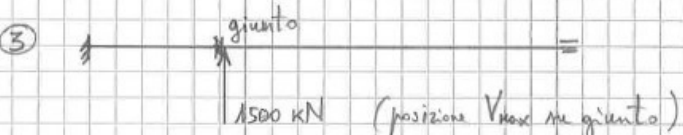


- Sulla trave in acciaio -

$a = 5.00 \text{ m}$ $b = 12.00 \text{ m}$ $l = 17.00 \text{ m}$

①  (posizione max M)

②  (posizione max V)

③  (posizione V_{max} al giunto.)

① $M_A = M_B = |M_C| = P \cdot l / 8 = \frac{1500 \cdot 17}{8} = 3188 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$V_A = V_B = P / 2 = 1500 / 2 = 750 \text{ kN}$; $T'_A = T_B = P \cdot c / 2 =$
 $= 1500 \cdot 0,30 / 2 = 225 \text{ kNm}$

② $V_A = P = 1500 \text{ kN}$

③ $V_D = V_A = P \left(\frac{b}{2l} \right) \left[3 - \frac{b^2}{l^2} \right] = \frac{1500 \cdot 12}{2 \cdot 17} \left[3 - \frac{12^2}{17^2} \right] = 1324 \text{ kN}$

$M_D = \frac{P b a^2}{2 \cdot l^3} (b + 2l) = 2106 \text{ kN} \cdot \text{m}$; $T'_D = T'_A = 1500 \cdot 0,3 \cdot f =$
 $= 397 \text{ kN} \cdot \text{m}$

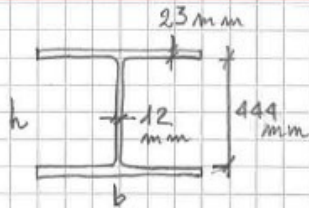
Caratteristiche della trave, costituita da SHEAS00:

$J_{apr} = 86974 \text{ cm}^4$; $J_{SHEAS00} = 434874 \text{ cm}^4$

$E = 210'000 \text{ MPa}$; $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$; $\Omega = \frac{(4 \times 300 - 12)(467)}{2} = 554796 \text{ mm}^2$

Opere di protezione all'urto di cavalcaferrovia esistenti - Opera di Protezione "tipo A" - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01	D 29 CL	IV 00 00 001	A	63 di 66



$$b \times h = 300 \times 490$$

$$\text{baricentro ali} = 444 + 23 = 467 \text{ mm} = h_G$$

Ipotezzando che il momento sia assorbito unicamente dalle ali, si ottiene:

$$N_{\pm \text{ali}} = \frac{M}{h_G} = \frac{3188}{0,467} = 6827 \text{ KN}; \quad \sigma = \frac{6827 \cdot 10^3}{5 \times 300 \times 23} = 198 \text{ MPa}$$

nel giunto si ha: $\sigma = 198 \cdot 2106 / 3188 = 130 \text{ MPa}$

Il taglio massimo viene assorbito dalle 5 anime dei profili saldati:

$$\tau_{\text{med}} = \frac{V}{5 \times s \times h_{\text{int}}} = \frac{1500'000}{5 \cdot 12 \cdot 444} \approx 62 \text{ MPa};$$

Il taglio nel giunto è assorbito solo dalle 2 anime più esterne:

$$\tau_{\text{med}} = \frac{V}{2 \cdot s \cdot h_{\text{int}}} = \frac{1324'000}{2 \cdot 12 \cdot 444} = 124 \text{ MPa};$$

La torsione produce in appoggio e nel giunto le seguenti tensioni:

$$\tau_{\text{tors. app}} = \frac{T}{2 \cdot s \cdot s} = \frac{225'000'000}{2 \cdot 554796 \cdot 12} \approx 17 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{tors. giunto}} = 17 \cdot 397 / 225 \approx 30 \text{ MPa}$$

si ottiene;

in incastro

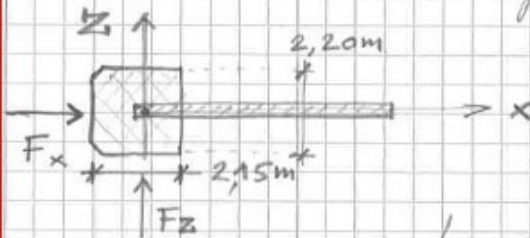
$$\sigma_{\text{id.von Mises}} = \sqrt{\sigma^2 + 3(\tau + \tau_{\text{tr}})^2} = \sqrt{198^2 + 3 \cdot (62 + 17)^2} = 240 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{id.v.M.}} = \sqrt{130^2 + 3(124 + 30)^2} = 296 \text{ MPa} \quad \text{nel giunto}$$

il tasso di sfruttamento del materiale è dunque pari a:

$$c.s. = \frac{296}{355} = 0,83 < 1 \quad \text{OK}$$

Analisi delle sollecitazioni indotta dall'urto -
- ad estradosso fondazione ed intradosso



$$\begin{cases} F_x = 4000 \text{ kN} \\ F_z = 1500 \text{ kN} \end{cases}$$

• braccio azione orizzontale = $1,80 + 0,20 = 2,00 \text{ m}$

Si verifica la colonna torcia con l'azione massima longitudinale pari a 4000 kN:

$$\begin{array}{l} \text{estradosso} \\ \text{fondazione} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} F_x = 4000 \text{ kN}; \quad F_y = F_z = M_x = M_y = 0; \\ M_z = 4000 \times 2,00 = 8000 \text{ kNm} \end{array} \right.$$

• braccio azione su intradosso
plinto = $1,80 + 1,40 = 3,20 \text{ m}$

$$\begin{array}{l} \text{intradosso} \\ \text{fondazione} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} F_x = 4000 \text{ kN} \\ M_z = 4000 \times 3,20 = 12800 \text{ kNm} \end{array} \right.$$

* Verifica attacco colonna. *

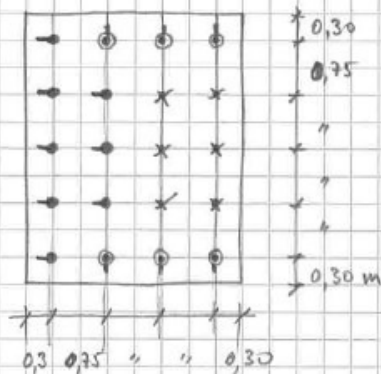
$$M = 8000 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Si dispongono $8\phi 24$ in doppio strato e $2\phi 24$ di bordo, passo 20 cm.

$$M_R = 8162 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (\text{con } N = 0)$$

Verifica palificate a 20 micropoli $\phi 300$ mm, armati

con tubolari $\phi 219,1$ mm / 16 mm
(acciaio S355); L=18,0 m



x pali verticali (6)

• pali inclinati 30°

⊙ pali inclinati 25°

Si ipotizza che il taglio pari a 2000 kN sia assorbito

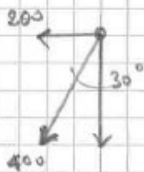
60%
taglio micropali
(2400 kN)

40%
componente
orizzontale
dei pali
inclinati.
(1600 kN)

✓ Taglio su micropali =
$$= \frac{2000}{20} = 120 \text{ kN}$$

✓ Componente orizzontale su ogni palo = $\frac{1600}{8} = 200 \text{ kN}$

✓ Riportato su azione anisale su ogni palo = $\frac{200}{\sin 30^\circ} = 400 \text{ kN}$



La Hz viene assorbita per tira/spingi con $Z \approx 1,5$ m (braccio)

$$N_{T/S} = \frac{12800}{1,5} = 8540 \text{ kN} \Rightarrow N_{T/S, \text{palo}} = 854 \text{ kN}$$

(su 10 pali)

$$N_{tot} = 400 + 854 = 1254 \text{ kN}$$

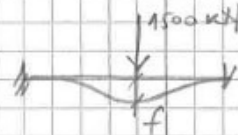
Il comportamento della palificata è particolarmente complesso e viene pertanto indagata con analisi al SAP2000.

I valori ottenuti sono comunque in linea con quelli utilizzati nelle verifiche strutturali e gestecniche dei micropoli.

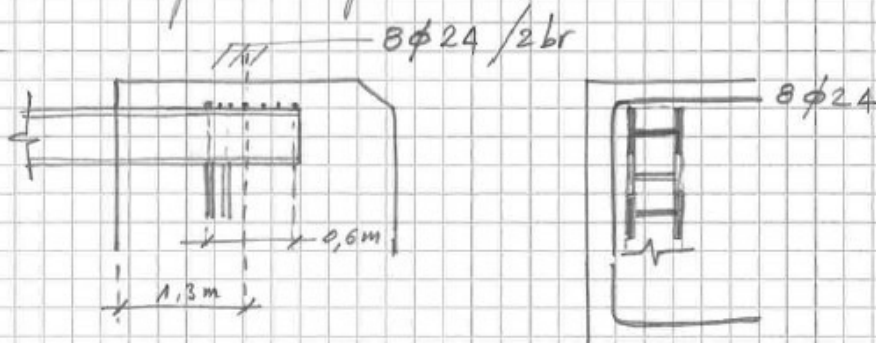
- ULTERIORI VERIFICHE -

◦ Deformabilità della trave 5X HEA500 :

$$f = \frac{1}{107} \frac{Pl^3}{EJ} \approx 42 \text{ mm.}$$



◦ Armature per il trasferimento del momento di incastro :



$$f_{yk} = 391 \text{ MPa} ; 16\phi 24 ; F_{rd} = 2829 \text{ kN}$$

$$F_d = \frac{M}{Z} = \frac{3188 \text{ kNm}}{1,30 \text{ m}} = 2453 \text{ kN}$$

◦ Verifiche plinto di fondazione :

Avevo una azione assiale dei micropoli stimata in 1300 kN, il momento sul plinto, calcolato all'attacco del plastro in cls, vale : $1300 \times 0,4 = 520 \text{ kNm}$
Tale valore è ampiamente inferiore a quello utilizzato nelle verifiche del tipologico.