

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA

RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI

(LOTTO 3)

RILEVATI E TRINCEE

Relazione di calcolo opere di sostegno TIPO 5

SCALA:

-

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

I A 4 S 0 0 D 2 9 C L R I 0 0 0 5 0 0 4 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	P.Luciani	10/07/2019	P. Tascione	11/07/2019	T.Paoletti	12/07/2019	F. Arduini 12/07/2019
								ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dot. F. Arduini Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n. 16942 del 1/1/1994

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

INDICE


1	PREMESSA	5
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	7
2.1	NORMATIVA	7
2.2	ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO	8
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	9
3.1	CALCESTRUZZO	9
3.2	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO	10
3.3	DURABILITÀ E PRESCRIZIONI SUI MATERIALI	10
3.4	COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE.....	10
4	PARAMETRI SISMICI.....	10
5	PARAMETRI GEOTECNICI.....	12
6	MODELLO DI CALCOLO.....	14
6.1	CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA CON COULOMB.....	14
6.2	CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA CON MONONOBE & OKABE.....	15
6.3	CALCOLO DELLA SPINTA A RIPOSO	15
6.4	CALCOLO DELLA SPINTA CON WOOD	16
6.5	CARICO UNIFORME SUL TERRAPIENO.....	16
6.6	SPINTA ATTIVA IN CONDIZIONI SISMICHE	16
7	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA	18
8	ANALISI DEI CARICHI.....	19
8.1	CONDIZIONI DI CARICO	19
8.1.1	<i>Peso proprio strutturale (PP)</i>	19
8.1.2	<i>Carichi permanenti portati (PERM)</i>	19
8.1.2.1	<i>Spinta da sovraccarico permanente (SP_PERM)</i>	19
8.1.3	<i>Spinta del terreno in condizioni statiche (SPTDX)</i>	19

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

8.1.4	<i>Azioni della falda (SPTW)</i>	20
8.1.5	<i>Azioni termiche (TERM)</i>	20
8.1.6	<i>Ritiro (RITIRO)</i>	21
8.1.7	<i>Azioni variabili da traffico</i>	22
8.1.7.1	Carichi verticali sul rilevato: Treno LM71 (ACCM_L71).....	22
8.1.7.2	Spinta del sovraccarico sul rilevato (SPACCDX)	23
8.1.8	<i>Azione dovuta al vento sul paramento (VENTO)</i>	23
8.1.9	<i>Pressione aerodinamica dei convogli (P_DIN)</i>	31
8.1.10	<i>Azioni sismiche</i>	33
8.1.10.1	Forze di inerzia.....	33
8.2	COMBINAZIONI DI CARICO	35
9	CRITERI DI CALCOLO	39
9.1	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	39
9.1.1	<i>Capacità portante per carichi assiali di pali di medio e grande diametro</i>	40
9.1.1.1	Portata unitaria di base	41
9.1.1.2	Attrito laterale	42
9.1.2	<i>Capacità portante per carichi trasversali</i>	44
9.2	VERIFICHE STRUTTURALI	48
9.2.1	<i>Verifiche allo stato limite ultimo</i>	48
9.2.1.1	Sollecitazioni flettenti.....	48
9.2.1.2	Sollecitazioni taglianti.....	49
9.2.2	<i>Verifiche allo stato limite di esercizio</i>	51
9.2.2.1	Verifica a fessurazione	51
9.2.2.2	Verifica delle tensioni	51
9.2.3	<i>Verifiche in condizioni sismiche</i>	51
10	MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	53
10.1	CODICE DI CALCOLO.....	53
10.2	INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA	54

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>COMMESSA IA6F</p>	<p>LOTTO 03 D 29</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO RI 0005 004</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 4 di 95</p>

10.2.1	<i>Calcolo del modulo di reazione orizzontale del terreno</i>	54
10.3	CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI	58
10.4	ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI	62
11	VERIFICHE STRUTTURALI	67
11.1	SOLLECITAZIONI PARAMENTO	67
11.2	VERIFICHE PARAMENTO	68
11.3	SOLLECITAZIONI CORDOLO	74
12	VERIFICHE GEOTECNICHE	81
12.1	SOLLECITAZIONI AGENTI A TESTA PALO	81
12.2	VERIFICHE DELLA CAPACITÀ PORTANTE	82
12.3	VERIFICHE AL CARICO LIMITE ORIZZONTALE	84
12.3.1	<i>Capacità portante orizzontale – condizioni non drenate</i>	84
12.4	CEDIMENTO PALI	87
12.5	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE	88
13	CONTROLLO DEGLI SPOSTAMENTI	94
14	ARMATURE E INCIDENZE	95

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

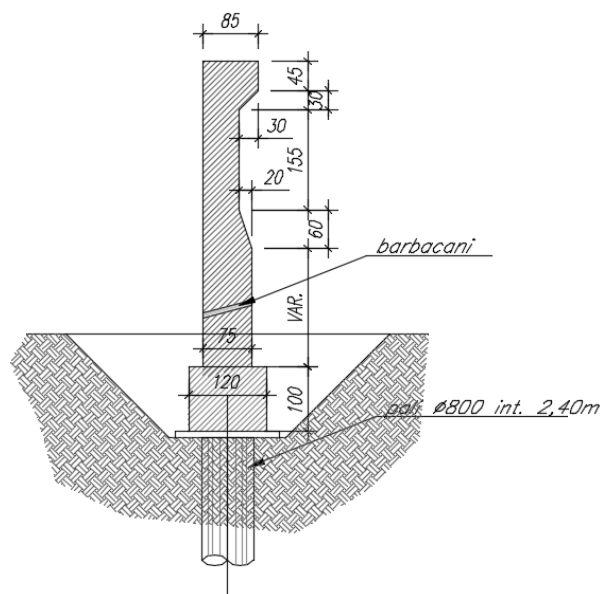
1 PREMESSA

La presente relazione riporta il dimensionamento della struttura di sostegno su fondazioni profonde in calcestruzzo armato gettato in opera, previsto a sostegno della banchina di stazione di San Marco, nell'ambito della progettazione definitiva del Raddoppio Ferroviario Tratta Chieti - Interporto d'Abruzzo, Lotto 3.

L'opera ricade nei seguenti campi di applicazione:

- Opera di sostegno lato BP da km 12+969.04 a km 13+400.00
- Opera di sostegno lato BD da km 12+963.33 a km 13+400.00
- Opera di sostegno lato BP da km 13+400.00 a km 13+584.79
- Opera di sostegno lato BD da km 13+400.00 a km 13+605.53
- Opera di sostegno lato BD da km 13+760.00 a km 14+067.00

In particolare verrà realizzato un muro di sostegno su singola fila di pali con funzione di mitigazione: il paramento ha spessore in testa di 0.80m e altezza massima di 5.70m (2,00m su P.F.). Il cordolo di base ha larghezza di 1.20 m e altezza di 1.00m. I pali di fondazione sono disposti su unica fila, con interasse longitudinale di 2.40 m, diametro Ø800 e profondità di 20.00 m. In testa al muro verrà considerata la presenza di una barriera antirumore di altezza massima H10.




	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 6 di 95

Figura 1 Sezione tipologica muro 05

L'opera, ubicata nel Comune di Chieti, ricade in zona sismica e sono state pertanto considerate le azioni derivanti dall'analisi sismica, secondo quanto previsto dal D.M. 17/01/18.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 7 di 95

2 **NORMATIVE DI RIFERIMENTO**

2.1 **Normativa**

L'analisi dell'opera e le verifiche degli elementi strutturali sono state condotte in accordo con le vigenti disposizioni legislative e in particolare con le seguenti norme e circolari:

[1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

[2] Circolare 21 gennaio 2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018.

Si è tenuto inoltre conto dei seguenti documenti:

[3] UNI EN 1990 – Aprile 2006: Eurocodice: Criteri generali di progettazione strutturale.

[4] UNI EN 1991-1-1 – Agosto 2004: Eurocodice 1 – Parte 1-1: Azioni in generale – Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi variabili.

[5] UNI EN 1991-1-4 – Luglio 2005: Eurocodice 1. Azioni sulle strutture. Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.

[6] UNI EN 1992-1-1 – Novembre 2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.

[7] UNI EN 1992-2 – Gennaio 2006: Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi.


[8] UNI-EN 1997-1 – Febbraio 2005: Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali.

[9] UNI-EN 1998-5 – Gennaio 2005: Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

[10] Legge 5-1-1971 n° 1086: “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”.

[11] Legge. 2 febbraio 1974, n. 64.: “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.

[12] UNI EN 206-1-2016: Calcestruzzo. “Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 8 di 95

[13] Calcestruzzo Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1 UNI 11104/2016;

[14] RFI DTC SI MA IFS 001 C – Dicembre 2018: Manuale di progettazione delle opere civili;

[15] RFI DTC SI SP IFS 001 C – Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – RFI;

[16] STI INFRA 1299/2014: “Regolamento UE N. 1299/2014 della Commissione del 18 Novembre del 2014 relativo alla Specifiche tecniche d'interoperabilità per il sottosistema “Infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea”

2.2 Elaborati progettuali di riferimento

Di seguito si riportano gli elaborati di progetto di riferimento:

[1] Relazione geotecnica generale - IA6F03D29GEGE0006001A

[2] Profili geotecnici di linea - IA6F03D29F6GE0006001A-3A.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 9 di 95

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 Calcestruzzo

Calcestruzzo per strutture in elevazione e di fondazione

Si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza 30/37 ($R_{ck} \geq 37.00$ N/mm²) che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica)
 $f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 30.71$ N/mm²
- Resistenza media a compressione
 $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38.71$ N/mm²
- Modulo elastico
 $E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 33019$ N/mm²
- Resistenza di calcolo a compressione
 $f_{cd} = a_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times f_{ck} / 1.5 = 17.400000$ N/mm²
- Resistenza a trazione media
 $f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.94$ N/mm²
- Resistenza a trazione
 $f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.06$ N/mm²
- Resistenza a trazione di calcolo
 $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.37$ N/mm²
- Resistenza a compressione (comb. Rara)
 $\sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 16.89$ N/mm²
- Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)
 $\sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 12.28$ N/mm²

Calcestruzzo per magrone

Classe di resistenza = C12/15

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

3.2 Acciaio per cemento armato

Tipo	B450 (controllato in stabilimento)	
$f_{yk} =$	450 MPa	Tensione caratteristica di snervamento
$f_{yd} = f_{yk} / 1.15 =$	391.30 MPa	Resistenza di calcolo
$\sigma_s = 0.75 f_{yk} =$	337.50 MPa	Tensione limite in condizione di esercizio (comb. Rara)
$E_s =$	210000 MPa	Modulo elastico

3.3 Durabilità e prescrizioni sui materiali

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

Per le opere della presente relazione, in base a quanto prescritto dal Capitolato di Costruzione RFI 2018, si adotta quanto segue:

Fondazione - Elevazione	Classe di esposizione	XC3
-------------------------	-----------------------	-----

3.4 Copriferro minimo e copriferro nominale

Al fine di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; definito come la distanza tra la superficie esterna dell'armatura, inclusi collegamenti e staffe, e la superficie di calcestruzzo più vicina.

In riferimento alla Tabella 2.5.2.2.3.2.-1 del Manuale di Progettazione delle Opere Civili Parte II - Sezione 2, per l'elemento strutturale in esame risulta un copriferro minimo $c_{min}=40mm$.

4 PARAMETRI SISMICI

La vita nominale (V_N) dell'opera è stata assunta pari a 75 anni. La classe d'uso assunta è la II.

Vita nominale:	$V_N =$	75	anni
----------------	---------	----	------

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 11 di 95

Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso	$C_u = 11111$
Periodo di riferimento	$V_R = V_N \times C_u = 75$ anni
Categoria del suolo	C
Categoria topografica	T1
Stato Limite	SLV
Tempo di ritorno	712


L'opera ricade nel comune di Chieti. I corrispondenti valori dei parametri sismici per lo SLV (TR=712 anni) sono i seguenti:

Latitudine	= 42.388;
Longitudine	= 14.141;
a_g	= 0.187 g;
F_0	= 2.476;
T^*c	= 0.356 s;
S_s	= 1.42;
S_T	= 1.0;
a_{max}	= 2.611 m/s ² .

Facendo riferimento alle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (β_m) è pari a:

- $\beta_m = 0.38$ nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)
- $\beta_m = 0.47$ nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).
- per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario.

In accordo con il Manuale di Progettazione (SEZIONE III § 3.10.3.1), i coefficienti sismici orizzontale e verticale nel caso in esame risultano:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 12 di 95

$$k_h = \beta_m a_{max}/g = 0.101$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h = 0.05$$

5 PARAMETRI GEOTECNICI

Le caratteristiche geotecniche del terreno in situ, in accordo con la Relazione Geotecnica sono di seguito riportati:

UNITA'	MATERIALE	Parametri di resistenza						Parametri di deformabilità									
		V_v	K_0	φ'	c'	c_u	G_0	E_0	E_{op1}	E_{op2}	ν'	k_v (*)	OCR	CR	RR	C_{ae}	Z_0
		[kN/m ³]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[%]	[m da p.c.]
LA1	L,A; L(A)[S]	19.5	0.68	33	5	60 120	40 80	150 200	10 20	20 40	0.25	1×10^{-7}	2.2	0.1	0.01	0.44	
LA2	L(A);L,A	19	0.75	28	5	30-60	60	150	15	30	0.25	1×10^{-7}	2	0.14	0.013	0.55	0
LA3	L(A,S); L(S,A)	18.5	0.6	28	0	50	48	120	12	24	0.25	1×10^{-6}	1.3	0.18	0.03	0.7	
LA,S	L(A,S)	20	0.55	30	0	60	72	180	18	36	0.25	1×10^{-6}	1.2	0.12	0.012	0.5	
AL1	L,A;A(L)	17.5	0.64	23	0	30	28	70	8	16	0.25	1×10^{-9}	1.1	0.17	0.03	0.7	
L(S)1	L(S);S(L);S(L,A)	19.5	0.47	32	0	-	60-80	150-200	10-20	20-40	0.25	1×10^{-6}	-	-	-	-	
G,S	S; S(G);G(S);G	19	0.38	38	0	-	200 100	500 250	50 25	100 50	0.2	1×10^{-4}	-	-	-	-	
M	A(M); M	20	0.54	28	25	200-500	160	400	40	80	0.25	1×10^{-9}	1.05	0.1	0.017	0.4	

Nota:

- 1) I valori dei parametri di deformabilità e la C_u dell'unità LA1 presenti nella riga in alto caratterizzano lo strato di LA1 presente tra inizio lotto e la pk 13+550, mentre I valori dei parametri di deformabilità e la C_u dell'unità LA1 presenti nella riga in basso fanno riferimento al materiale che caratterizza lo strato LA1 dalla pk 13+550 in poi.
- 2) I valori dei parametri di deformabilità associati dell'unità G,S presenti nella prima riga caratterizzano lo strato di G,S tra inizio lotto e la pk 14+450 dove lo strato suddetto si trova a profondità più elevate, mentre I valori dei parametri di deformabilità dell'unità G,S presenti nella riga in basso fanno riferimento al materiale che caratterizza lo strato G,S dalla pk 14+550 in poi dove si incontra la suddetta unità caratterizza il deposito fin dai primi metri di profondità.

Tabella 1: Caratterizzazione geotecnica

I parametri geotecnici impiegati per il rilevato ferroviario sono:

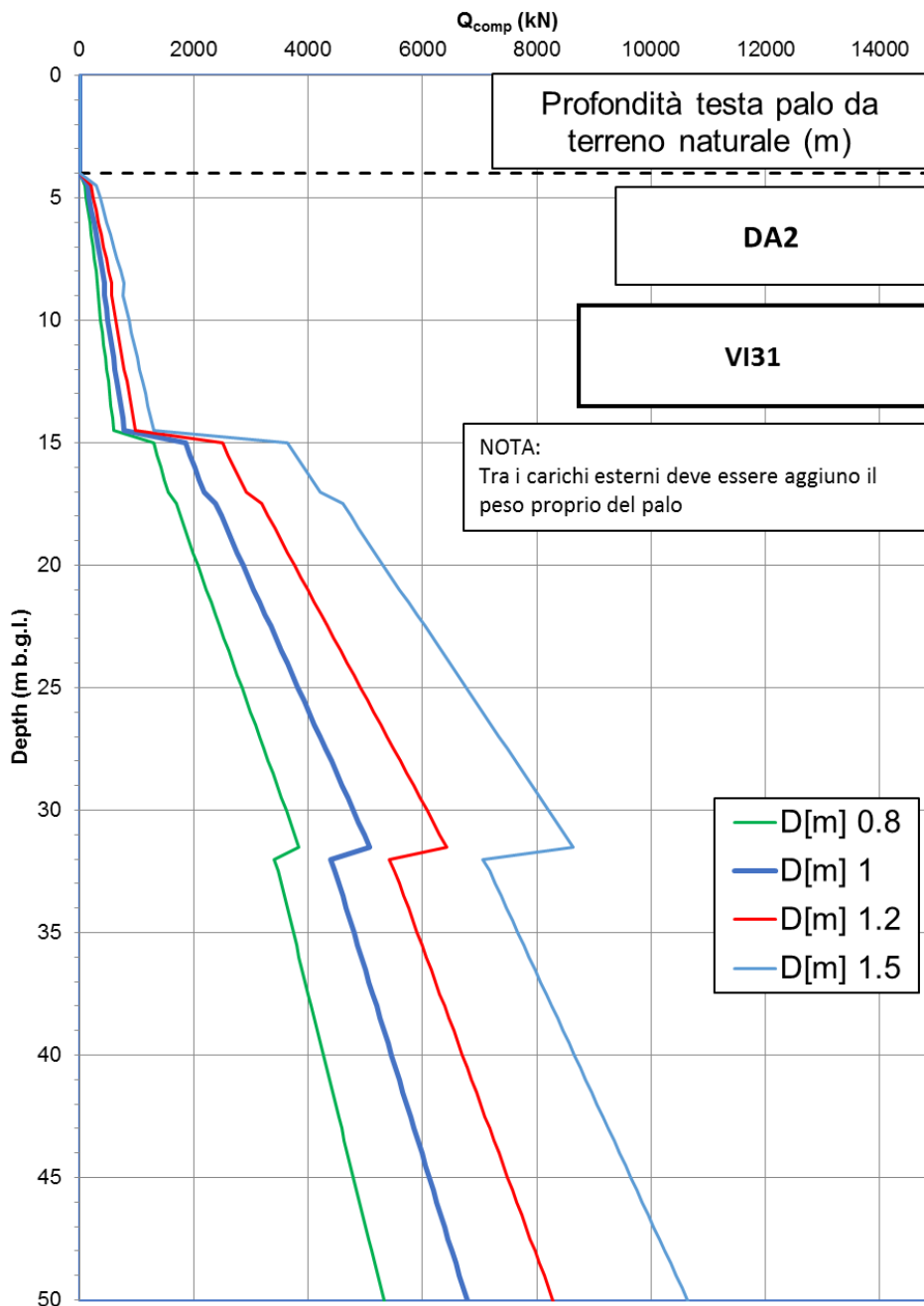
$\gamma = 20.00$	kN/m ³	peso di volume naturale
$\varphi' = 38$	°	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0.00$	kPa	coesione drenata

La falda è posiziona al di sotto del piano di posa della fondazione e non interagisce con l'opera in esame.

Di seguito si riportano anche le curve di portanza relative al km 12+951:

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA-PESCARA –
RADDOPPIO PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI – LOTTO 3**

Capacità portante a compressione (SLU) [kN]



	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 14 di 95

6 MODELLO DI CALCOLO

Il dimensionamento delle opere di sostegno è stato eseguito analizzando gli stati limite ultimi che si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali costituenti le opere stesse.

Le azioni considerate sulle opere di sostegno sono quelle dovute al peso proprio del terreno e del materiale di riempimento, ai sovraccarichi permanenti o variabili dovuti rispettivamente al carico permanente della scarpata o ai carichi mobili.

Nel dimensionamento delle opere è stato assunto, per il terreno spingente costituito da materiale da rilevato, un angolo di resistenza al taglio pari a 38° e un angolo di attrito terreno-muro nullo, sia in condizioni statiche sia in condizioni sismiche.

Per ogni stato limite ultimo analizzato è stata rispettata la seguente condizione:

$$Ed \leq Rd$$

essendo Ed è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, ed Rd è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

La verifica della suddetta condizione, sia per le verifiche strutturali sia per le verifiche geotecniche, è stata effettuata applicando l'Approccio 2 delle NTC18 in cui è prevista la seguente combinazione di coefficienti:

Combinazione : A1+M1+R3 (STR/GEO)

Considerando i coefficienti parziali riportati nelle tab.6.2.I, 6.2.II e 6.5.I delle stesse NTC 2018.

6.1 Calcolo della spinta attiva con Coulomb

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di Coulomb è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \times \gamma_t \times z$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t H^2 K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi - \phi)}{\sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\sin(\psi + \delta) \cdot \sin(\psi - \beta)}} \right]^2}$$

Valori limite di K_A :

$\delta < (\psi - \phi - \beta)$ secondo Muller-Breslau

γ_t Peso unità di volume del terreno;

ψ Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

ϕ Angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ Angolo di attrito terra-muro;

β Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

H Altezza della parete.

6.2 Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di Mononobe & Okabe riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo ε , di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo β , di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità θ tale che:

$$\text{tg } \theta = k_H / (1 \pm k_V)$$

con k_H coefficiente sismico orizzontale e k_V verticale.

6.3 Calcolo della spinta a riposo

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 16 di 95

Per le tipologie di muro con fondazione su micropali si adotta un regime di spinte a riposo, dove il coefficiente di spinta k_0 vale.

$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

6.4 *Calcolo della spinta con Wood*

La valutazione delle spinte del terreno in condizioni sismiche pseudo-statiche, per le tipologie di muro con fondazioni su micropali, è stata effettuata seguendo la formulazione di Wood adottato da EC8 ed indicato nel D.M. del 17/01/2018 (Nuove Norme tecniche per le costruzioni). La spinta totale di progetto E_d esercitata dal terreno ed agente sull'opera di sostegno che non ammette spostamenti è data da:

$$\Delta P_d = k_h \cdot \gamma \cdot H^2$$

dove K_h è il coefficiente sismico orizzontale.

6.5 *Carico uniforme sul terrapieno*

Un carico Q , uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari a:

$$P_q = K_A \times Q \times \sin \psi / \sin(\psi + \beta)$$

Per integrazione, una spinta pari a S_q :

$$S_q = K_a \cdot Q \cdot H \cdot \frac{\sin(\psi)}{\sin(\psi + \beta)}$$

Con punto di applicazione ad $H/2$, avendo indicato con K_a il coefficiente di spinta attiva secondo Muller-Breslau.

6.6 *Spinta attiva in condizioni sismiche*

In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sul muro è data da:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) K H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

dove:

H altezza muro

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 17 di 95

k_v coefficiente sismico verticale

γ peso per unità di volume del terreno

K coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico)

E_{ws} spinta idrostatica dell'acqua

E_{wd} spinta idrodinamica.


Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica $E_{wd} = 0$, ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo θ della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$

Con H altezza del livello di falda misurato a partire dalla base del muro.


	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 18 di 95

7 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Il muro in cemento armato a presidio del rilevato ferroviario presenta fondazioni di tipo profondo con le seguenti caratteristiche:

- paramento murario di altezza variabile fino ad un massimo di 5.70 m e spessore massimo in testa di 0.85m e 0.80m alla base (valore assunto per il calcolo);
- fondazione caratterizzata da spessore costante pari a 1.0m e larghezza totale di 1.20m;
- pali di fondazione sono disposti su due file, con interasse e longitudinale di 2.40 m, diametro Ø800 e profondità di 20.00 m.

Larghezza cordolo	$L_{tot} =$	1.20m
Spessore paramento	$S_p =$	0.80m
Spessore del cordolo di fondazione	$S_c =$	1.0m
Altezza della fascia di spinta	$H_{spinta} =$	2.00m
Altezza del paramento	$H_p =$	5.70m
Altezza totale muro	$H_{tot} =$	6.70m

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 19 di 95

8 ANALISI DEI CARICHI

8.1 CONDIZIONI DI CARICO

Nel seguente paragrafo si descrivono le condizioni di carico elementari assunte per l'analisi delle sollecitazioni e per le verifiche della struttura in esame. Tali condizioni di carico elementari saranno opportunamente combinate secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

calcestruzzo armato: $\gamma_{c.a.} = 25 \text{ kN/m}^3$

massiccata + armamento: $\gamma_b = 18 \text{ kN/m}^3$

8.1.1 Peso proprio strutturale (PP)

Il peso proprio del paramento e della suola risulta:

Peso paramento $P_p = 25.00 \times 0.80 \times 5.70 = 114.00 \text{ kN/m}$

Peso cordolo $P_s = 25.00 \times 1.0 \times 1.20 = 30.00 \text{ kN/m}$

Peso della barriera antirumore $P_{BA} = 7.50 \text{ kN/m}$

8.1.2 Carichi permanenti portati (PERM)


Il peso dei carichi permanenti su rilevato è stato considerato considerando uno spessore di ballast di 0.800 m:

$P_{ps} = \gamma_b h_b = 14.40 \text{ kN/m}^2$

8.1.2.1 Spinta da sovraccarico permanente (SP_PERM)

$P = P_{ps} * k_A = 3.43 \text{ kN/m}^2$

8.1.3 Spinta del terreno in condizioni statiche (SPTDX)

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 20 di 95

In fase statica la struttura è stata analizzata nella condizione di spinta a riposo. Si riporta di seguito il calcolo delle pressioni agenti sulla struttura, eseguito per la Combinazione unica dell'approccio 2 (A1+M1+R3) Il coefficiente di spinta risulta pari a:

Approccio 2 – Combinazione 1 $K_A=0.238$

La pressione del terreno è stata calcolata come:

$P = (h \cdot \gamma_{\text{terreno}}) \cdot K_A$ al di sopra della falda

$P = [h \cdot (\gamma_{\text{terreno}} - \gamma_w)] \cdot K_A$ al di sotto della falda.

Risulta quanto segue:

Pressione in asse soletta $P = 11.90 \text{ kN/m}^2$

Pressione intradosso soletta $P = 14.28 \text{ kN/m}^2$

Inoltre sono stati considerati, come carichi concentrati nei nodi della fondazione, i contributi delle spinte del terreno esercitate su metà spessore della soletta:

Spinta semispessore soletta $P_{H,t} = 6.55 \text{ kN/m}$

8.1.4 Azioni della falda (SPTW)


Il valore delle spinte è stato calcolato come $P = z \times \gamma_w$

La falda è posiziona al di sotto del piano di posa della fondazione e non interagisce con l'opera in esame..

8.1.5 Azioni termiche (TERM)

Sono stati considerati gli effetti dovuti alle variazioni termiche. In particolare, è stata considerata una variazione termica uniforme di $\pm 15^\circ \text{C}$ ed una variazione termica nello spessore, tra estradosso ed intradosso, pari a $\Delta T_v = \pm 5^\circ \text{C}$. Il valore applicato della variazione termica uniforme viene ridotto di 1/3 per considerare gli effetti viscosi del calcestruzzo, ed è quindi pari a $\pm 5^\circ \text{C}$. Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 10 \cdot 10^{-6} = 0.00001 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 21 di 95

8.1.6 Ritiro (RITIRO)

Il ritiro viene applicato mediante una variazione termica uniforme, in grado di produrre la stessa deformazione nel calcestruzzo.

Gli effetti del ritiro sono stati valutati a lungo termine, attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale $\epsilon_{cs}(t, t_0)$ e di viscosità $\phi(t, t_0)$, come definiti nell'Eurocodice 2 – UNI EN 1992-1-1-2005.

I fenomeni di ritiro sono stati considerati applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente pari a:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = -8.55 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Di seguito i risultati delle analisi.

La deformazione totale del ritiro si può esprimere come:

$$= \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca}$$

ϵ_{cs} deformata per ritiro

ϵ_{cd} deformazione per ritiro per essiccamento

ϵ_{ca} deformazione per ritiro autogeno

$\epsilon_{cd, \infty} = kh * \epsilon_{c0}$ valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento

$R_{ck} = 37 \text{ MPa}$

$f_{ck} = 30.71 \text{ MPa}$

$RH = 75 \text{ \%}$ umidità relativa

$\epsilon_{c0} = -2.68E-04$ valore tabella 11.2.Va

$h_0 = 2A_c/u$

$A_c = 0.85 \text{ m}^2$ area della sezione di cls

$u = 1 \text{ m}$ perimetro della sezione esposta all'aria

$h_0 = 1.7 \text{ m}$

$h_0 = 1700 \text{ mm}$

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 22 di 95

$$k_h = 0.7 \quad \text{valore tabella 11.2.Vb}$$

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h * \varepsilon_{c0} = -1.88E-04$$

Deformazione da ritiro per essiccamento

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t-t_s) * \varepsilon_{cd,\infty}$$

$$\beta_{ds}(t-t_s) = (t-t_s) / [(t-t_s)+0.04*h^{0.3/2}]$$

$$(t-t_s) = 25548 \text{ giorni}$$

$$\beta_{ds}(t-t_s) = 0.90110961$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = -0.000168966$$

Deformazione da ritiro autogeno

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2.5 (f_{ck} - 10) 10^{-6} = -5.18E-05$$

Deformazione totale da ritiro

$$\varepsilon_{cs} = -2.39E-04$$

$$a = 1.00E-05$$

$$f = 1.8$$

$$D_{Tritito} = -8.55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

8.1.7 Azioni variabili da traffico

8.1.7.1 Carichi verticali sul rilevato: Treno LM71 (ACCM_L71)

Il treno LM71 viene schematizzato da 4 assi da 250 kN disposti ad interasse di 1,60 m e da un carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni per una larghezza illimitata.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

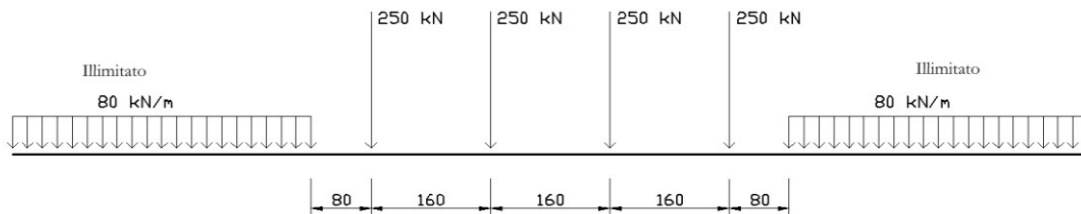


Figura 2- Treno LM71

Secondo il § 2.5.1.4.1.5 del RFI DTC SI PS MA IFS 001 C Manuale di progettazione RFI2018 (cfr, 5.2.2.2.1.5 NTC2018) il carico verticale su rilevato a tergo della spalla può essere ottenuto considerando una distribuzione trasversale dei carichi concentrati LM71 su una larghezza di 3.000000m e una distribuzione longitudinale pari a quella di applicazione dei 4 carichi concentrati (schema LM71) = 6.400000m.

Per questo tipo di carico non deve essere applicato l'incremento dinamico.

$$P_{V.LM71} = 52.08 \text{ kN/m}^2$$

8.1.7.2 Spinta del sovraccarico sul rilevato (SPACCDX)

Si è considerata la sola spinta prodotta dal carico ripartito equivalente alle forze concentrate.

Approccio 2 – Combinazione unica

$$P_{H.LM71} = (P_{V.LM71}) K_0 = 20.022 \text{ kN/m}$$

8.1.8 Azione dovuta al vento sul paramento (VENTO)

L'azione del vento sulle barriere antirumore collocate in testa al paramento comporta un carico sfavorevole per il muro.

La pressione del vento è stata calcolata ai sensi delle NTC 2018, la normativa suddivide il territorio italiano in zone per le quali sono assegnati i parametri di base $v_{b,0}$, a_0 , k_a . Con riferimento a tali parametri è possibile calcolare la velocità di riferimento v_b , vale a dire il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su dieci minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni v_b .


I dettagli del calcolo sono di seguito riportati:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 24 di 95

Zona - Regione	Zona	[-]	3.00
Velocità di riferimento - Valore caratteristico	$v_{b,0}$	[m/s]	27.00
Parametro legato all'altitudine della zona	a_0	[m]	500.00
Parametro funzione della zona	k_s	[1/s]	0.37
Altitudine	a_s	[m]	50.00
Velocità di riferimento per un periodo di ritorno di 50 anni	v_b	[m/s]	27.00
Tempo di ritorno	T_R	[anni]	50.00
Coefficiente correttivo per il tempo di ritorno	C_R	[-]	1.00
Velocità di riferimento per il periodo di ritorno definito	$v_r (T_R)$	[m/s]	27.00

Tab. 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 25 di 95

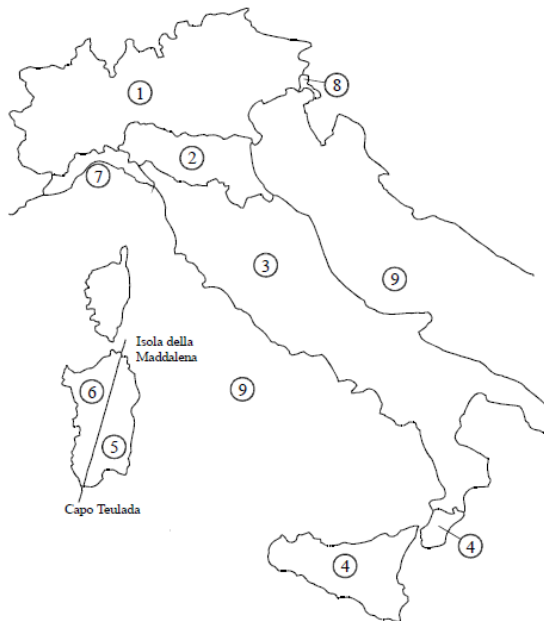


Figura 3.3.1 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

Figura 8-3 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano e valori dei parametri di riferimento (tab. 3.3.I NTC2018).

Densità dell'aria	ρ	[kg/m ³]	1.25
Pressione cinetica di riferimento	q_b	[N/m ²]	455.63

8.1.8.1.1 Categoria di esposizione


Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza della costruzione z sul suolo del punto considerato, dalla rugosità e dalla topografia del terreno, dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione.

Il coefficiente di esposizione c_e varia lungo la quota fuori terra (z) della costruzione ed è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_t^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

Dove:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

k_r, z_0, z_{min} sono assegnati in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

z è l'altezza della struttura (somma dell'altezza della barriera antirumore e del rilevato su cui è installata);

c_t è il coefficiente di topografia.

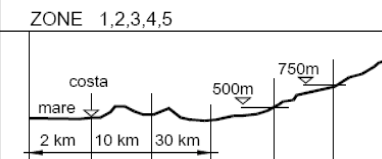
In mancanza di analisi che tengano conto sia della direzione di provenienza del vento sia delle variazioni di rugosità del terreno, la categoria di esposizione è assegnata in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno.

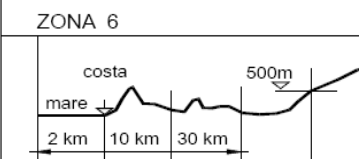
Nelle fasce entro i 40 km dalla costa delle zone 1, 2, 3, 4, 5, e 6, la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.


Tabella 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

ZONE 1,2,3,4,5						
						
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

ZONA 6					
					
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
			
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			


ZONA 9		
		
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

Tabella 3.3.II – Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

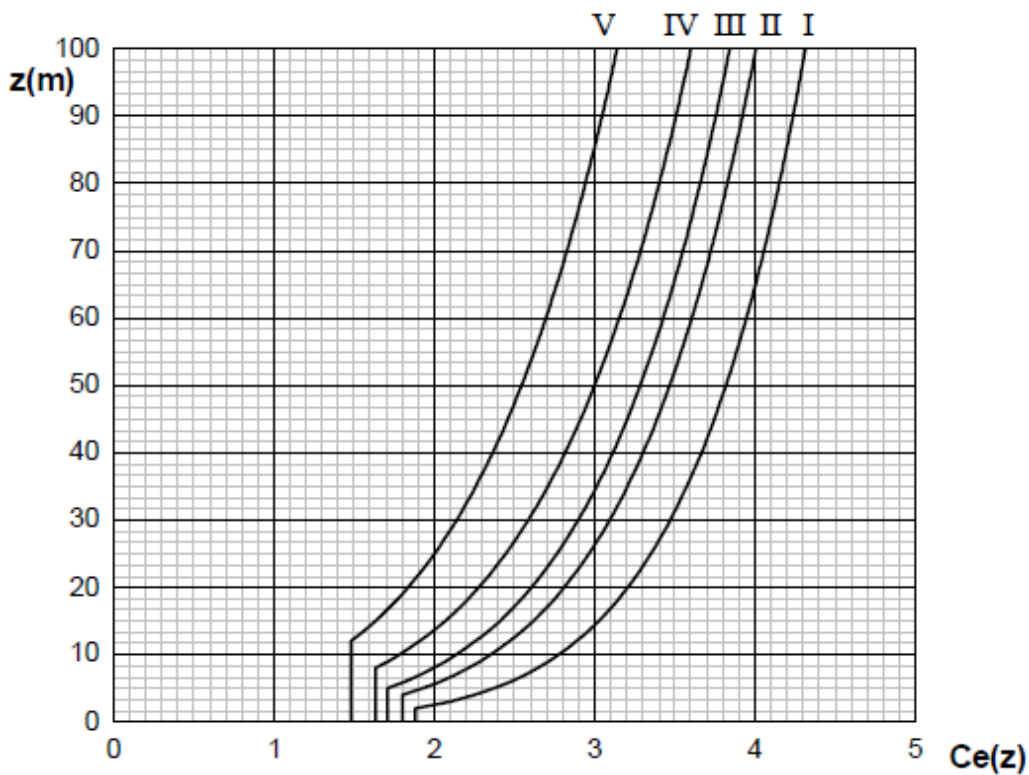
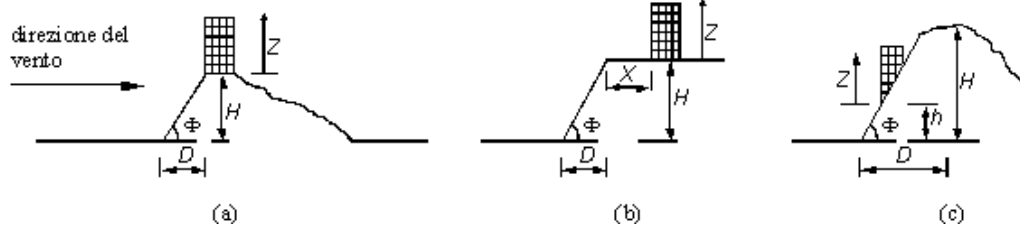


Figura 3.3.3 - Andamento del coefficiente di esposizione c_e con la quota (per $c_t = 1$)

Classe di rugosità del terreno	Classe _{rug}	[-]	D
Categoria di esposizione del sito	Cat _{esp}	[-]	II
Parametri per la definizione del coeff. di esposizione	k_r	[-]	0.19
	z_0	[m]	0.05
	z_{min}	[m]	4

8.1.8.1.2 Coefficiente di topografia

Per il calcolo del coefficiente di topografica C_t si fa riferimento alla Circolare del D.M. 1996, paragrafo C.7.5.:



Con riferimento alla figura sopra detta H l'altezza della collina o del dislivello e $H/D = \tan \Phi$ la sua pendenza media, si introducono preliminarmente:

Il coefficiente β , funzione dell'altezza z che vale:

$$\beta = 0,5 \quad \text{per } z/H \leq 0,75$$

$$\beta = 0,8 - 0,4 \cdot z/H \quad \text{per } 0,75 < z/H \leq 2$$

$$\beta = 0 \quad \text{per } z/H > 2$$

Il coefficiente γ dipendente dalla pendenza H/D che vale:

$$\gamma = 0 \quad \text{per } H/D \leq 0,10$$

$$\gamma = 5 \cdot [(H/D) - 0,10] \quad \text{per } 0,10 < H/D \leq 0,30$$

$$\gamma = 1 \quad \text{per } H/D > 0,30$$

In tal modo il coefficiente di topografia C_t si può esprimere nei seguenti casi:

- Costruzioni ubicate sulla cresta di una collina $C_t = 1 + \beta\gamma$
- Costruzioni sul livello superiore di un dislivello $C_t = 1 + \beta\gamma \cdot [1 - 0,1 \cdot (x/H)] \geq 1$
- Costruzioni su di un pendio $C_t = C_t = 1 + \beta\gamma \cdot (h/H)$

I parametri utilizzati per il calcolo del coefficiente di topografia C_t sono i seguenti:

H=2.00metri

z= 5.50 metri (altezza da P.F)

D= 0.00 metri

z/H= 2.7508

b = 0.0000

$\gamma = 1.00$

ct = 1.00

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 29 di 95

8.1.8.1.3 Coefficienti dinamico

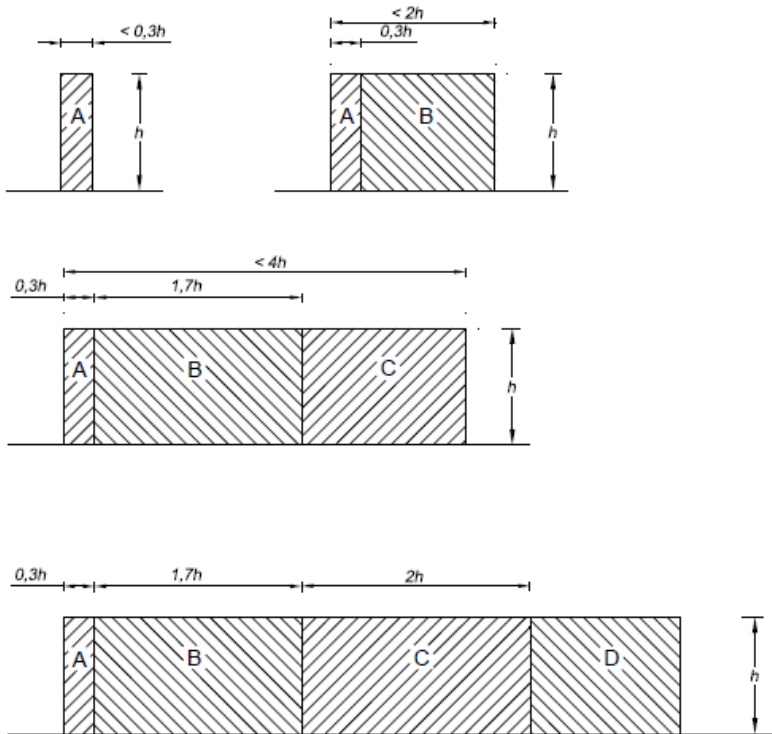
Il coefficiente dinamico c_d permette di tenere in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali. Nelle strutture analizzate viene considerato cautelativamente un coefficiente dinamico pari a $c_d = 1.0$.

8.1.8.1.4 Coefficienti di forma

I coefficienti di forma c_p , in accordo a quanto riportato nei riferimenti tecnici delle NTC, vengono determinati in base alle indicazioni riportate nel capitolo G.5 (dal titolo “Coefficienti aerodinamici globali”) delle CNR-DT 207/2008 (“Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti per del vento sulle costruzioni”) e nell’Eurocodice EN 1991-1-4.

Le due norme, per muri e parapetti piani indicano coefficienti di forma c_p differenti in base alla zona considerata in funzione della distanza dal bordo libero della barriera.

La figura che segue, tratta dalle CNR, riporta la suddivisione delle zone con coefficienti di pressione totali differenti.




La Tabella che segue indica i valori dei coefficienti di forma per ciascuna fascia, sia in assenza che in presenza di chiusure laterali e per due valori φ di densità dell'elemento. Nella tabella il simbolo "l" indica la lunghezza della barriera mentre "h" rappresenta l'altezza.

φ	Chiusura laterale	l/h	A	B	C	D
1,0	no	<3	2,3	1,4	1,2	1,2
		5	2,9	1,8	1,4	
		>10	3,4	2,1	1,7	
	si	tutti	2,1	1,8	1,4	
0,8	si/no	tutti	1,2			

Si è scelto di applicare il coefficiente di pressione pari a $c_{p\text{ corrente}} = 1,2$.

8.1.8.1.5 Pressione del vento

h_{FOA}	H_{muro}	Posizione	C_t	C_e montante	C_p montante	$C_{dinamico}$	$\rho_{montante}$
[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN/m ²]
5.50	2.00	Corrente	1.0	1.80	1.20	1.00	0.98

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 31 di 95

La predetta pressione ortogonale alla barriera può agire in direzione X sia verso l'interno binario sia verso l'esterno.

8.1.9 Pressione aerodinamica dei convogli (P_{DIN})

Il passaggio dei convogli induce sulle superfici situate in prossimità della linea ferroviaria onde di pressione e depressione. L'ampiezza di tali azioni dipende principalmente dai fattori di seguito elencati:

1. dal quadrato della velocità del treno (v);
2. dalla forma aerodinamica del convoglio (K_1);
3. dalla forma della struttura (K_2);
4. dalla posizione della struttura e dalla distanza stessa dal binario (a_g).

Le azioni possono essere schematizzate mediante carichi equivalenti agenti nelle zone prossime alla testa e alla coda del treno.

I carichi equivalenti sono considerati valori caratteristici delle azioni ($\pm q_{1k}$).

Si ha pertanto:

$$q_{1k} = f(v; a_g) \times K_1 \times K_2$$

dove:

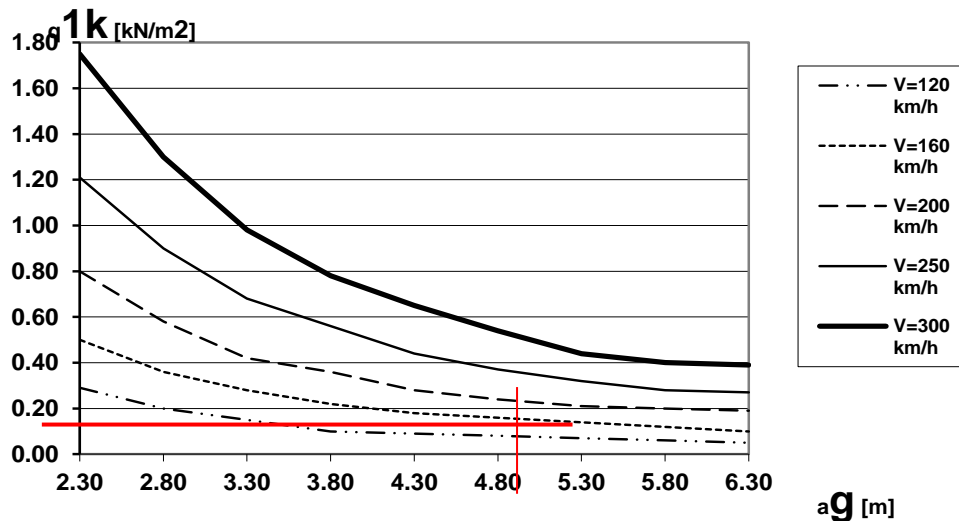
$K_1 = 1.00$ per treni con forme aerodinamiche sfavorevoli

= 0.85 per treni con carrozze a sagoma arrotondata

= 0.60 per treni aerodinamici (ETR)

$K_2 = 1.30$ se l'altezza dell'elemento è ≤ 1.00 o se la larghezza è ≤ 2.50 ; altrimenti $K_2 = 1.00$;

$a_g =$ distanza dalla mezzeria del binario più vicino (nel caso in esame pari a 5.05 m);



Nel caso specifico considerando una velocità massima di percorrenza di un convoglio con forme aerodinamiche sfavorevoli ($K_1=1.00$), pari a $V_{max} = 140$ km/h, e considerando $K_2=1.00$, dall'abaco precedentemente riportato si evince che poiché per:

$a_g = 5.05$ m, si ha circa:

$$q_{1k} = 0.18 \quad [\text{kN/m}^2]$$

L'azione elementare sopra descritta è stata amplificata del coefficiente dinamico k di amplificazione:

$a_g =$	5.05	m	Distanza dall'asse del binario vicino	
Velocità	q_{1k}	k_1	k	$q_k = k_1 * k * q_{1k}$
km/h	kN/m^2	-		kN/m^2
140	0.18	1.00	1.09	0.20

Le azioni aerodinamiche devono essere cumulate con l'azione del vento. L'azione risultante dovrà essere maggiore di un valore minimo, funzione della velocità della linea e comunque di $1,50 \text{ kN/m}^2$ sia nella verifica agli SLE (combinazione caratteristica) sia nella verifica agli SLU con $\gamma_Q=1,00$ e $\gamma_{Qi}=1,00$."

Il valore minimo della risultante della combinazione del vento e dell'azione aerodinamica si assumerà pari a $1,50 \text{ kN/m}^2$ per linee percorse a velocità $V \leq 200 \text{ Km/h}$ e pari a $2,50 \text{ kN/m}^2$ per linee percorse a velocità $V > 200 \text{ Km/h}$.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 33 di 95

Nel caso in esame si terrà quindi conto di una pressione totale agente di 1.50kN/m².

8.1.10 Azioni sismiche

8.1.10.1 Forze di inerzia

Per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudo-statica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico k .

Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

$$\text{Forza sismica orizzontale} \quad F_h = k_h \times W$$

$$\text{Forza sismica verticale} \quad F_v = k_v \times W$$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = a_{\max}/g$$

$$k_v = \pm 0.5 \times k_h$$

Gli effetti dell'azione sismica sono stati valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \psi_{2j} Q_{kj}$$

Pertanto avremo che:

$$\text{Peso paramento} \quad P_p = 25.00 \times 0.80 \times 5.70 = 114.00 \quad \text{kN/m}$$


$$\text{Peso cordolo} \quad P_s = 25.00 \times 1.0 \times 1.20 = 30.00 \quad \text{kN/m}$$

$$\text{Peso della barriera antirumore} \quad P_{BA} = 7.50 \quad \text{kN/m}$$

$$\text{Peso permanenti portati} \quad P_{Ps} = 14.40 \quad \text{kN/m}$$

$$\text{Massa treno} \quad Q_k = 52.08 \cdot \Psi_{0,2} = 10.42 \quad \text{kN/m}$$

8.1.10.1.1 Forze sismiche orizzontali (SISMA_H)

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 34 di 95

Forza orizzontale (carico orizzontale uniformemente distribuito applicato sul paramento):

$$F'_h = k_h (P_p + P_s + P_t + P_{barr}) = 17.81 \quad \text{kN/m}$$

8.1.10.1.2 Forze sismiche verticali (SISMA_V)

Per la forza sismica verticale avremo analogamente (carico verticale uniformemente distribuito applicato sul paramento):

Forza verticale sul paramento:

$$F'_v = k_v (P_p + P_s + P_t + P_{barr}) = 8.906 \quad \text{kN/m}^2$$

8.1.10.1.3 Spinta delle terre in fase sismica (SPSDX)

Le spinte delle terre sono state determinate con la teoria di Mononobe Okabe, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza H viene determinata con la seguente espressione:

$$S_{a,E} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (1 \pm k_v) H^2 K_{A,E} = 27.27 \quad \text{kN/m}^2$$

con risultante applicata ad un'altezza pari ad H/2.

Nel modello di calcolo si è applicato il valore della forza sismica per unità di superficie agente sul paramento.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 35 di 95

8.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili; utilizzata nella verifica a Fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine;

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.30 \times E_Z \quad \text{oppure} \quad E = \pm 0.30 \times E_Y \pm 1.00 \times E_Z$$

avendo indicato con E_Y e E_Z rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

I coefficienti di amplificazione dei carichi γ e i coefficienti di combinazione ψ sono riportati nelle tabelle seguenti.

In particolare nel calcolo della struttura si è fatto riferimento alla combinazione A1 STR.

Si ripota la Tabella 5.2.V delle NTC18 dei coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico SLU:


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 36 di 95

Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica (da DM 17/01/2018)

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ced}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

- (1) Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
- (2) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
- (3) Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
- (4) Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
- (5) Aliquota di carico da traffico da considerare.
- (6) 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
- (7) 1,20 per effetti locali

Si riporta la Tabella 5.2.VI delle NTC18 in cui sono espressi i coefficienti di combinazione delle azioni:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (da DM 17/01/2018)

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	g_{f1}	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	g_{f2}	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽²⁾	-
carico	g_{f3}	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽²⁾	0,0
	g_{f4}	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Nella combinazione sismica le azioni indotte dal traffico ferroviario sono combinate con un coefficiente $\psi_2 = 0.2$ (paragrafo 5.1.3.12 del DM 17/01/2018) coerentemente con l'aliquota di massa afferente ai carichi da traffico.

Si riportano di seguito le combinazioni delle azioni maggiormente significative per la determinazione delle sollecitazioni più gravose.

	SLU01	SLU02	SLU03	SLU04	SLU05	SLU06
PP	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
SPTDX	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
SP_PERM	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
RITIRO	1.2	1.2	1.2	0	0	0
SPACCDX	1.45	1.16	1.16	1.45	1.16	1.16
VENTO	0.9	1.5	0.9	0.9	1.5	0.9
TERM	±0.9	±0.9	±1.5	±0.9	±0.9	±1.5
URTO X1	0	0	0	0	0	0
URTO X2	0	0	0	0	0	0
URTO Y1	0	0	0	0	0	0
URTO Y2	0	0	0	0	0	0
SPSDX	0	0	0	0	0	0
SISMA_H	0	0	0	0	0	0
SISMA_V	0	0	0	0	0	0

Tabella 2 Combinazioni SLU

	ECC1	ECC2	ECC3	ECC4
PP	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1
SP_PERM	1	1	1	1
RITIRO	1	1	1	1
SPACCDX	0	0	0	0
VENTO	0	0	0	0
TERM	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5
URTO X1	1	0	0	0
URTO X2	0	1	0	0
URTO Y1	0	0	1	0
URTO Y2	0	0	0	1
SPSDX	0	0	0	0
SISMA_H	0	0	0	0
SISMA_V	0	0	0	0

Tabella 3 Combinazioni ECC

	SLV01	SLV02	SLV03	SLV04	SLV05	SLV06	SLV07	SLV08
PP	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1	1	1	1
SP_PERM	1	1	1	1	1	1	1	1
RITIRO	1	1	1	1	1	1	1	1
SPACCDX	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
VENTO	0	0	0	0	0	0	0	0
TERM	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5
URTO X1	0	0	0	0	0	0	0	0
URTO X2	0	0	0	0	0	0	0	0
URTO Y1	0	0	0	0	0	0	0	0
URTO Y2	0	0	0	0	0	0	0	0
SPSDX	1	1	-1	-1	0.3	-0.3	0.3	-0.3
SISMA_H	1	1	-1	-1	0.3	-0.3	0.3	-0.3
SISMA_V	0.3	-0.3	0.3	-0.3	1	1	-1	-1

Tabella 4 Combinazioni SLV

	SLE_QPERM01	SLE_R01	SLE_R02	SLE_R03	SLE_R04	SLE_R05	SLE_R06
PP	1	1	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1	1	1
SP_PERM	1	1	1	1	1	1	1
RITIRO	1	1	1	1	0	0	0
SPACCDX	0	1	0.8	0.8	1	0.8	0.8
VENTO	0	0.6	1	0.6	0.6	1	0.6
TERM	±0.5	±0.6	±0.6	±1	±0.6	±0.6	±1
URTO X1	0	0	0	0	0	0	0
URTO X2	0	0	0	0	0	0	0
URTO Y1	0	0	0	0	0	0	0
URTO Y2	0	0	0	0	0	0	0
SPSDX	0	0	0	0	0	0	0
SISMA_H	0	0	0	0	0	0	0
SISMA_V	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 5 Combinazioni SLE

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

9 CRITERI DI CALCOLO

9.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

Secondo le “Nuove Norme Tecniche Sulle Costruzioni – DM 17 Gennaio 2018”, le verifiche di capacità portante dei pali, per quanto riguarda la combinazione sismica e statica, vengono svolte con il metodo dei coefficienti parziali di sicurezza.

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R della Tab. 6.4.II. della NTC-2018, di seguito riportata:

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.

Pertanto si ha:

$$A_{cd} \leq R_{cd}$$

dove:

A_{cd} carico assiale di compressione di progetto allo stato limite ultimo statico

R_{cd} capacità portante di progetto allo stato limite ultimo definita riducendo il valore caratteristico $R_{c,k}$ con coefficienti che valgono 1.15 per la resistenza alla punta e 1.15 e per quella laterale.

$R_{c,k}$ valore caratteristico della capacità portante.

La resistenza caratteristica R_k del palo singolo è stata dedotta da metodi di calcolo analitici, dove R_k è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Con riferimento alle procedure analitiche che prevedano l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ (o $R_{t,k}$) è dato dal minore dei valori ottenuti

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

applicando alle resistenze calcolate $R_{c,cal}$ ($R_{t,cal}$) i fattori di correlazione ξ riportati nella Tab. 6.4.IV della NTC-2018, in funzione del numero n di verticali di indagine:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad [6.4.3]$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad [6.4.4]$$

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

Nell'ambito del sistema di fondazione scelto, a favore di sicurezza, si considerano significative $n \geq 3$ verticali di indagine. Nel seguito vengono esplicitati i calcoli di portanza in dettaglio.

9.1.1 Capacità portante per carichi assiali di pali di medio e grande diametro

La portata limite (Q_{LIM}) di un palo trivellato viene calcolata con riferimento all'equazione:

$$Q_{LIM} = Q_{B,LIM} + Q_{L,LIM} = q_b \cdot A_B + \sum_i \tau \cdot D_i \cdot \Delta H_i \cdot q_{s,i}$$

dove:

$Q_{B,LIM}$ = portata limite di base;

$Q_{L,LIM}$ = portata limite laterale;

q_b = portata unitaria di base;

A_B = area di base;

D_i = diametro del concio imo di palo;

ΔH_i = altezza del concio imo di palo;

$\tau_{LIM,i}$ = attrito laterale unitario limite del concio imo di palo.

Per pali a sezione circolare, l'espressione di q_b cui si perviene è la seguente

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 41 di 95

$$q_b = N_c c + N_q q_L \quad (1)$$

dove c è la coesione e q_L il particolare valore della pressione sul piano orizzontale passante per la punta del palo; in pratica si assume $q_L = \gamma L$ con L lunghezza del palo; N_c e N_q sono fattori adimensionali, funzioni dell'angolo d'attrito e del rapporto L/D . Tra N_c e N_q esiste la relazione

$$N_c = (N_q - 1) \cdot ctg\varphi \quad (2)$$

con φ angolo d'attrito del terreno.

La resistenza laterale q_s alla generica profondità z viene valutata con l'espressione

$$q_s = q_a + \mu \cdot k \cdot \sigma_v \quad (3)$$

dove q_a è un termine di adesione indipendente dalla tensione normale, $\mu = tg \delta$ è un coefficiente d'attrito terreno-palo, k è un coefficiente adimensionale che esprime il rapporto fra la tensione normale che agisce alla profondità z sulla superficie laterale del palo e la tensione verticale σ_v alla stessa profondità.

Nella pratica progettuale il calcolo del carico limite viene condotto in maniera diversa per terreni incoerenti e per terreni coesivi saturi.

Nel seguito vengono illustrati i criteri di dimensionamento convenzionale, basati sulla definizione esplicita dei parametri di resistenza dei terreni.

Nel seguito vengono illustrati i criteri di dimensionamento convenzionale, basati sui risultati di prove penetrometriche standard SPT o sulla definizione esplicita dei parametri di resistenza dei terreni.

9.1.1.1 Portata unitaria di base

Terreni coesivi

In argille e limi saturi, in condizioni non drenate, il carico limite viene usualmente calcolato in termini di tensioni totali.

Per N_c è comunemente adottato il valore 9; per $\varphi_u=0$ $N_q=1$.

La resistenza alla punta vale quindi

$$q_b = 9 \cdot c_u + \gamma \cdot L$$

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 42 di 95

Terreni granulari

Per la valutazione della resistenza alla punta Q_b di pali di medio diametro si fa riferimento allo schema di mezzo omogeneo ed isotropo e a meccanismi di rottura del terreno molto diversi tra loro. A seconda del meccanismo di rottura assunto, i valori di N_q per un dato valore dell'angolo d'attrito variano in un intervallo molto ampio. Per pali infissi di medio diametro, specie in terreni mediamente addensati ($\varphi' \leq 35^\circ$) è prevalso l'uso dei valori di N_q forniti dalla teoria di Berezantzev (1961, cfr. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

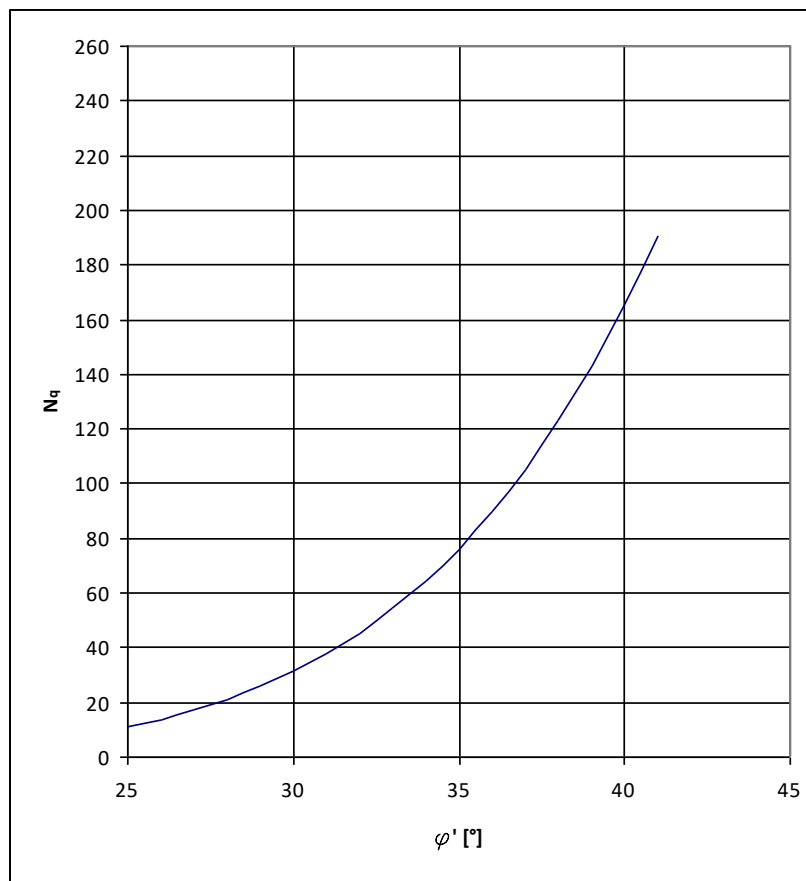


Figura 4- Valori di N_q secondo Berezantzev (1961)

9.1.1.2 Attrito laterale

Terreni coesivi

La resistenza laterale si calcola supponendo nullo il coefficiente d'attrito palo-terreno; si ottiene così l'espressione

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

$$q_s = q_a$$

L'adesione può essere valutata mediante i coefficienti riportati in **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata. in funzione della coesione non drenata c_u .

MATERIALE		Cu (kPa)	qa (kPa)	qa max (kPa)
PALI INFISSI	CLS	≤ 25	cu	120
		25÷50	0.85 cu	
		50÷75	0.65 cu	
		≥ 75	0.50 cu	
	ACCIAIO	≤ 25	cu	100
		25÷50	0.80 cu	
		50÷75	0.65 cu	
		≥ 75	0.50 cu	
TRIVELLATI	CLS	≤ 25	0.90 cu	100
		25÷50	0.80 cu	
		50÷75	0.60 cu	
		≥ 75	0.40 cu	

Tabella 6- Valori indicativi dell'adesione q_a per pali in terreni coesivi

Terreni granulari

Per il calcolo della resistenza laterale q_s si assume $q_a = 0$.

I valori di k variano in un campo molto ampio in funzione del tipo di terreno, del tipo di palo e delle modalità esecutive.

In linea orientativa si è fatto riferimento ai valori empirici di k e μ riportati in **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata..

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

TIPO DI PALO		Valori di k	Valori di m
BATTUTO	Acciaio	0.5÷1	tg 20°
	Calcestruzzo prefabbricato	1÷2	tg (3/4 φ')
	Calcestruzzo gettato in opera	1÷3	tg φ
TRIVELLATO		0.4÷0.7 *	tg φ'

Tabella 7- Valori indicativi di k e μ per terreni incoerenti

* Decrescente con la profondità

In funzione delle condizioni locali del terreno si considera l'effetto di gruppo della palificata definendo un coefficiente riduttivo η della capacità portante pari a 1.0

9.1.2 Capacità portante per carichi trasversali

Le analisi svolte per valutare le interazioni fra il palo sollecitato da azioni laterali ed il terreno è stata utilizzata la teoria sviluppata da Broms (1964), che si basa sulle seguenti ipotesi:

- palo immerso in un terreno omogeneo
- comportamento dell'interfaccia palo-terreno di tipo rigido perfettamente plastico;
- forma della sezione trasversale del palo ininfluenza, è importante solo da dimensione d della sezione del palo.
- comportamento flessione del palo di tipo rigido-perfettamente plastico e cioè assume che le rotazioni elastiche del palo siano trascurabili finché il momento flettente non attinga il valore M_y di plasticizzazione. A questo punto si forma nella sezione una "cerniera plastica", perciò la rotazione continua indefinitamente sotto momento costante.

Si è considerata la testa del palo impedita di ruotare.

Nel caso di rottura non drenata, la resistenza viene espressa in termini di tensioni totali.

Il diagramma di distribuzione della resistenza lungo il fusto del palo è illustrato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** (“terreni coesivi”).

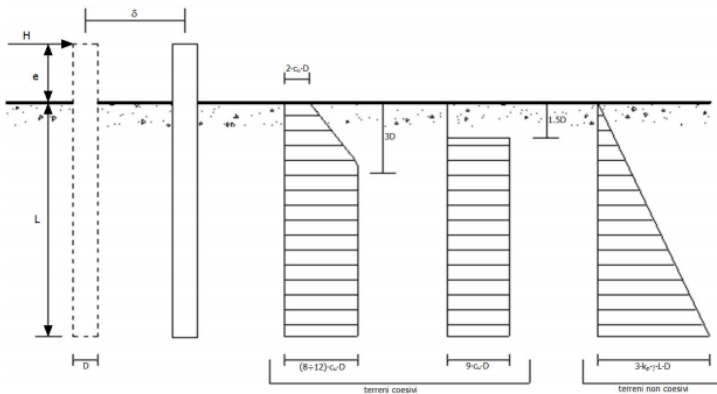


Figura 5- Diagramma di distribuzione della resistenza trasversale p.

I possibili meccanismi di rottura sono presentati in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e possono essere indicati come rottura a palo “corto” (non si raggiunge il momento di plasticizzazione M_y in nessuna sezione del palo), “intermedio” (si raggiunge M_y all’attacco palo-fondazione) e “lungo” (M_y raggiunto anche in una sezione lungo il fusto).

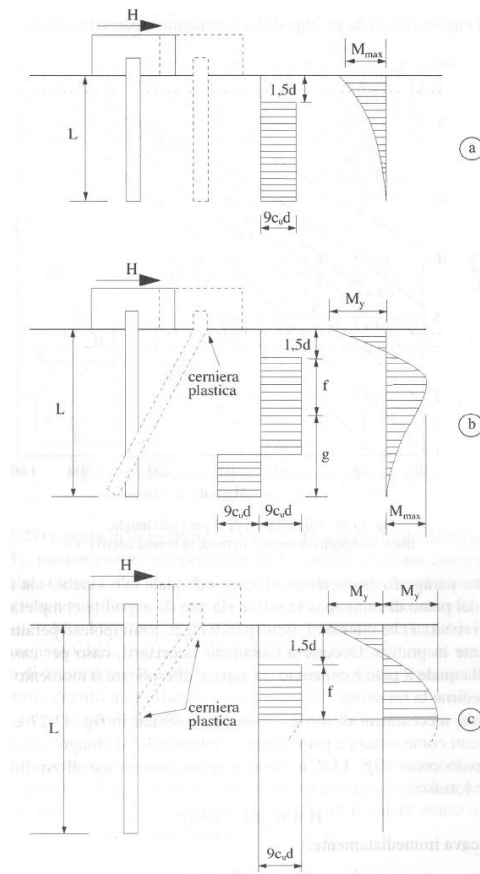


Figura 6– Rottura non drenata: possibili meccanismi di rottura.

Le equazioni risolventi per il carico limite nei tre casi vengono di seguito riportate.

palo “corto”
$$\frac{H}{c_u d^2} = 9\left(\frac{L}{d} - 1.5\right) ;$$

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

palo “lungo”
$$\frac{H}{c_u d^2} = -13.5 + \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u d^3}} .$$

Nel caso di rottura drenata, la resistenza viene espressa in termini di tensioni efficaci.

Il diagramma di distribuzione della resistenza lungo il fusto del palo è illustrato ancora in Figura V (“terreni incoerenti”).

I possibili meccanismi di rottura sono presentati **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** (palo “corto”, “intermedio” e “lungo”).

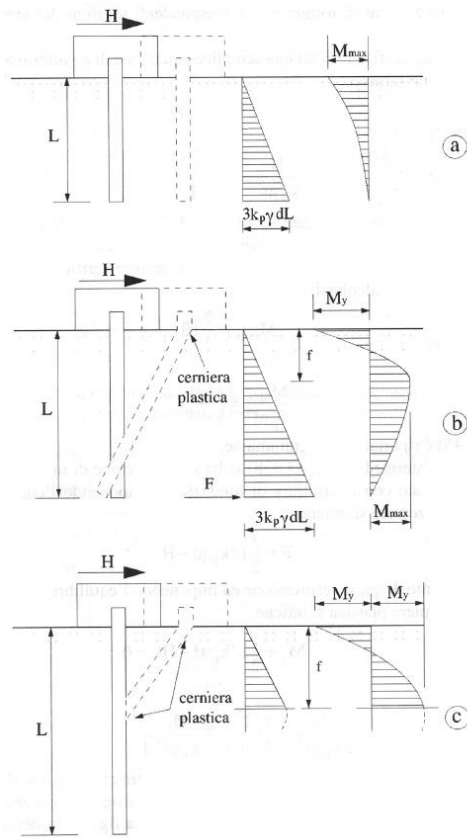


Figura 7– Rottura drenata: possibili meccanismi di rottura.


Le equazioni risolventi per il carico limite drenato nei tre casi vengono di seguito riportate.

palo “corto”
$$\frac{H}{k_p \gamma d^3} = 1.5 \left(\frac{L}{d} \right)^2 ;$$

palo “intermedio”
$$\frac{H}{k_p \gamma d^3} = \frac{1}{2} \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \frac{d}{L} ;$$

palo “lungo”
$$\frac{H}{k_p \gamma d^3} = \sqrt[3]{(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4})^2}$$

La resistenza caratteristica R_k del palo singolo è stata dedotta da metodi di calcolo analitici, dove R_k è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 48 di 95

Con riferimento alle procedure analitiche che prevedano l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ (o $R_{t,k}$) è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate $R_{c,cal}$ ($R_{t,cal}$) i fattori di correlazione ξ riportati nella Tab. 6.4.IV della NTC-2018, in funzione del numero n di verticali di indagine come nel caso del calcolo delle resistenze per micropali soggetti a carichi assiali. Per la determinazione del valore di progetto $R_{tr,d}$ della resistenza di pali a carichi trasversali si applicano i coefficienti parziali γ_T riportati nella Tab. 6.4.VI della NTC-2018.

Tab. 6.4.VI - Coefficiente parziale γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

9.2 VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche strutturali condotte sono le seguenti:

- Verifiche di stato limite di esercizio
- Verifiche a fessurazione
- Verifica delle tensioni
- Verifiche di stato limite di ultimo
- Verifica a flessione
- Verifica a taglio

9.2.1 Verifiche allo stato limite ultimo

9.2.1.1 Sollecitazioni flettenti

La verifica agli SLU è stata realizzata attraverso il calcolo dei domini di interazione N-M, ovvero il luogo dei punti rappresentativi di sollecitazioni che portano in crisi la sezione di verifica secondo i criteri di resistenza da normativa.

Nel calcolo dei domini sono state mantenute le consuete ipotesi, tra cui:

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 49 di 95

- conservazione delle sezioni piane;
- legame costitutivo del calcestruzzo parabola-rettangolo non reagente a trazione, con plateau ad una deformazione pari a 0.002 e a rottura pari a 0.0035 ($\sigma_{max} = 0.85 \times 0.83 \times R_{ck} / 1.5$);
- legame costitutivo dell'armatura d'acciaio elastico–perfettamente plastico con deformazione limite di rottura a 0.01 ($\sigma_{max} = f_{yk} / 1.15$)

9.2.1.2 Sollecitazioni taglianti

La resistenza a taglio V_{Rd} di elementi sprovvisti di specifica armatura è stata calcolata sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con la seguente espressione:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

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

$$v_{min} = 0,035k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

dove:


d è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d)$ è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ($\leq 0,02$);

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$ è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0,2 f_{cd}$);

b_w è la larghezza minima della sezione (in mm).

La resistenza a taglio V_{Rd} di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 50 di 95

$$1 \leq \operatorname{ctg} \theta \leq 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) è soddisfatta se è verificata la seguente relazione:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

La resistenza di calcolo a “taglio trazione” dell’armatura trasversale è stata calcolata con la seguente relazione:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

La resistenza di calcolo a “taglio compressione” del calcestruzzo d’anima è stata calcolata con la seguente relazione:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta)$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due relazioni sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

In cui:

d è l’altezza utile della sezione;

b_w è la larghezza minima della sezione;

σ_{cp} è la tensione media di compressione della sezione;

A_{sw} è l’area dell’armatura trasversale;

S è interasse tra due armature trasversali consecutive;

α è l’angolo di inclinazione dell’armatura trasversale rispetto all’asse della trave;

f'_{cd} è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d’anima ($f'_{cd}=0.5f_{cd}$);

α è un coefficiente maggiorativo par ad 1 per membrane non compresse.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 51 di 95

9.2.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature, sono suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato dalla Tab. 4.1.III delle NTC2018:

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

Tabella 8 Descrizione delle condizioni ambientali (Tab. 4.1.III delle NTC18)

Nel caso in esame, le condizioni ambientali sono sempre "ordinarie".

9.2.2.1 Verifica a fessurazione

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è pari a 0.2mm per la combinazione rara.

9.2.2.2 Verifica delle tensioni

I limiti tensionali considerati per i materiali sono relativi alla combinazione di carico quasi permanente e caratteristica.

Calcestruzzo:

Combinazione di azioni	Limite tensionale
Caratteristica (rara)	$\sigma_c \leq 0.55 f_{ck}$
Quasi permanente	$\sigma_c \leq 0.40 f_{ck}$

Acciaio:

Combinazione di azioni	Limite tensionale
Caratteristica (rara)	$\sigma_a \leq 0.75 f_{yk}$

9.2.3 Verifiche in condizioni sismiche

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p>						
<p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="775 282 903 322">COMMESSA IA6F</td> <td data-bbox="903 282 999 322">LOTTO 03 D 29</td> <td data-bbox="999 282 1158 322">CODIFICA CL</td> <td data-bbox="1158 282 1318 322">DOCUMENTO RI 0005 004</td> <td data-bbox="1318 282 1414 322">REV. A</td> <td data-bbox="1414 282 1509 322">FOGLIO 52 di 95</td> </tr> </table>	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 52 di 95
COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 52 di 95		

E' stato verificato che gli spostamenti permanenti allo SLD siano inferiori a 2cm, come prescritto nel Mdp Parte II – SEZIONE 3.

10 MODELLAZIONE STRUTTURALE

10.1 CODICE DI CALCOLO

L'analisi della struttura è stata condotta con un programma agli elementi finiti (SAP2000) facendo riferimento agli assi baricentrici degli elementi schematizzati con elementi "shell" per la modellazione del paramento e con elementi "beam" per quelli del cordolo e dei pali di fondazione.

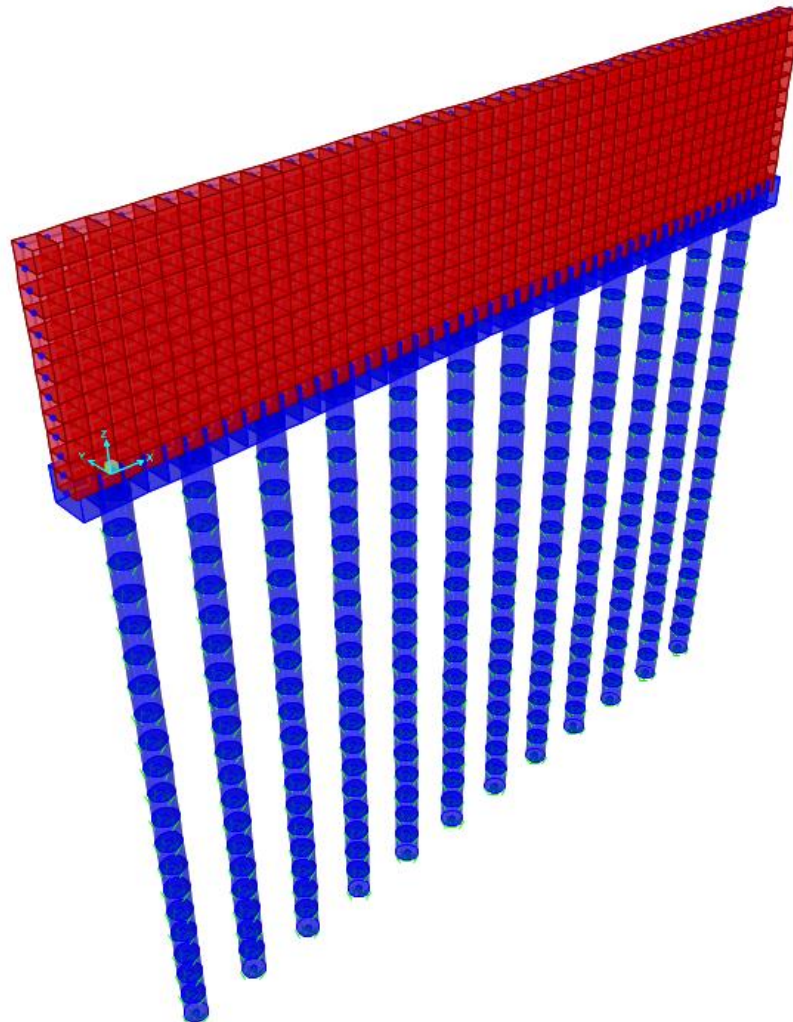


Figura 8- Modello F.E.M struttura

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 54 di 95

10.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

La valutazione degli spostamenti orizzontali del palo e della rotazione in testa è stata condotta considerando il palo immerso nel terreno e soggetto all'azione dei carichi orizzontali e verticali derivanti dalla struttura in elevazione.

Il terreno è stato schematizzato mediante una distribuzione di molle di diversa rigidezza a seconda del tipo di terreno che il palo attraversa. In particolare, il palo è stato modellato con elementi di tipo "frame", prevedendo una discretizzazione delle aste pari a 100 cm; in ciascun nodo è stata applicata una molla con comportamento elastico lineare, con pari rigidezza nelle due direzioni ortogonali.

La base del palo è stata vincolata impedendo lo spostamento nella direzione parallela alle aste.

Il valore della rigidezza delle molle, nel caso di comportamento coesivo dei terreni, è costante con la profondità, mentre per terreni granulari è considerata variabile con la profondità.

10.2.1 Calcolo del modulo di reazione orizzontale del terreno

Nel caso di terreni reali, la relazione tra la pressione sul terreno e lo spostamento indotto non è lineare; la prima attinge un valore limite allorché lo spostamento è sufficientemente elevato. Matlock & Reese (1956) sostengono l'adozione di un modulo crescente con la profondità, tenendo conto del cedimento e della non linearità del terreno. Per terreni granulari i moduli di reazione orizzontale iniziali (E_{si}) sono stati valutati in accordo alla seguente espressione:

$$E_{si} = k_{hi} \cdot z \text{ [kPa]}$$

essendo:


k_{hi} = gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale

z = profondità dal piano campagna originario.

essendo:

k_{hi} = gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale, riportato nella tabella seguente (cfr. Reese et al., 1974 e Elson, 1984)

z = profondità dal piano campagna originario.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

D_r (%)	k_{hi} (kN/m ³)
35%	10000
50%	15000
70%	25000

Tabella 10.1 - Gradiente con la profondità del modulo di reazione orizzontale secondo Reese et al. (1974) (cfr. anche Elson (1984))

Nel caso in esame, è possibile determinare tale parametro mediante correlazione empirica con le altre proprietà del terreno in esame.

In particolare per i terreni incoerenti, Terzaghi, nell'ipotesi che il modulo di elasticità dipenda dalla pressione litostatica e dalla densità della terra, suggerisce:

$$k_h = \frac{A\gamma}{1.35}$$

dove:

A = fattore adimensionale che dipende dallo stato di addensamento del terreno

γ = peso dell'unità di volume di terreno del rilevato

Risultati analoghi si possono ottenere tramite la teoria di Vesic, esprimendo il modulo di sottofondo k_h in funzione dei parametri elastici della massa E_t e ν_t con la relazione seguente:

$$k_h = \left(\frac{E_t}{D_p} \right) \times 12 \sqrt{\frac{E_t \times D^4}{E_p J_p}} \times \left(\frac{0.65}{1 - \nu_t^2} \right) \left[\frac{kN}{m^3} \right]$$

dove:


E_t [kg/cm²] modulo elastico longitudinale in condizioni non drenate dipendente dallo stato litologico considerato ;

ν_t coefficiente di Poisson;

E_p [kg/cm²] modulo elastico minimo del palo per $R'_{ck}=300$ kg/cm²;

J_p [cm⁴] rigidezza del palo;

D_p [cm] diametro del palo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

Nel caso di pali di fondazione posizionati in cresta ad una scarpata naturale o artificiale, i moduli di reazione orizzontali saranno ridotti di una quantità pari al rapporto tra il coefficiente di spinta passiva del terreno calcolato per un piano di campagna con inclinazione pari alla pendenza della scarpata e lo stesso parametro calcolato per un piano di campagna orizzontale.

In particolare, noto il coefficiente di spinta passiva nel caso di piano campagna orizzontale dalla formula:

$$K_p = \frac{1 + \operatorname{sen}(\varphi)}{1 - \operatorname{sen}(\varphi)}$$

e calcolando il coefficiente di spinta passiva nel caso di piano campagna con inclinazione w nel modo seguente:

$$K_{p-w} = \frac{\cos(\omega) + \sqrt{\cos(\omega)^2 - \cos(\varphi)^2}}{\cos(\omega) - \sqrt{\cos(\omega)^2 - \cos(\varphi)^2}}$$

si ricava il coefficiente di riduzione delle molle orizzontali per la presenza della scarpata dal rapporto dei due coefficienti di spinta passiva appena descritti:

$$\eta = \frac{K_{p-w}}{K_p}$$

Tale coefficiente di riduzione viene applicato fino ad una quota di 5 m dal piano di posa della fondazione. Per profondità superiori l'inclinazione della scarpata viene considerata ininfluyente ai fini del calcolo della rigidezza delle molle orizzontali del terreno.

A questo punto, nel caso di comportamento granulare del terreno, il valore della rigidezza K_{orizz} della molla orizzontale alla generica profondità z risulterà pari a

$$K_{orizz}(z) = \eta \cdot E(z) \cdot d = \eta \cdot k_{hi} \cdot z \cdot d \quad \left[\frac{kN}{m} \right]$$

dove d è il diametro del palo o del micropalo di fondazione.

Nel caso di comportamento coesivo dei terreni, il modulo elastico del terreno viene calcolato con la seguente formula:

$$E_{coesivo} = 400 \cdot c_u \quad [kPa]$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

dove c_u rappresenta la coesione non drenata minima del terreno considerato. In questo caso il valore della rigidezza della molla è costante con la profondità ed è soggetto anch'esso alla riduzione dovuta all'eventuale inclinazione della scarpata.

In questo caso il valore della rigidezza della molla risulterà pari a

$$K_{\text{orizz_coesivo}} = \eta \cdot E_{\text{coesivo}} \cdot d \quad \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

Nel caso in esame si ottiene:

N° concio	Profondità base concio		Terreno	Fattore di rigidezza		Coefficiente riduttivo per l'inclinazione della scarpata	Modulo elastico terreno	Rigidezza molle	Coefficiente di sottofondo
	Da testa palo	Da piano campagna		Granulare	Coesivo		Coesivo		
[-]	z_{palo} [m]	z_{ril} [m]	-	T [m]	β [1/m]	η [-]	E_{coes} [kN/m ²]	k [kN/m]	K [kN/m ³]
1	1.00	2.00	L,A1	1.92	0.30	1.000	24,000	19,200	15360
2	2.00	3.00	L,A2	1.92	0.30	1.000	24,000	19,200	15360
3	3.00	4.00	L,A2	1.92	0.30	1.000	24,000	19,200	15360
4	4.00	5.00	L,A2	1.92	0.30	1.000	24,000	19,200	15360
5	5.00	6.00	L,A2	1.92	0.30	1.000	24,000	19,200	15360
6	6.00	7.00	L,A2	1.92	0.30	1.000	24,000	19,200	15360
7	7.00	8.00	L,A2	1.92	0.30	1.000	24,000	19,200	15360
8	8.00	9.00	L,A3	2.00	0.28	1.000	20,000	16,000	12800
9	9.00	10.00	L,A3	2.00	0.28	1.000	20,000	16,000	12800
10	10.00	11.00	L,A3	2.00	0.28	1.000	20,000	16,000	12800
11	11.00	12.00	L,A3	2.00	0.28	1.000	20,000	16,000	12800
12	12.00	13.00	L,A3	2.00	0.28	1.000	20,000	16,000	12800
13	13.00	14.00	L,A3	2.00	0.28	1.000	20,000	16,000	12800
14	14.00	15.00	L,A3	2.00	0.28	1.000	20,000	16,000	12800
15	15.00	16.00	L,A3	2.00	0.28	1.000	20,000	16,000	12800
16	16.00	17.00	L,A3	2.00	0.28	1.000	20,000	16,000	12800
17	17.00	18.00	L,A,S	1.92	0.30	1.000	24,000	19,200	15360
18	18.00	19.00	L,A,S	1.92	0.30	1.000	24,000	19,200	15360
19	19.00	20.00	L,A,S	1.92	0.30	1.000	24,000	19,200	15360
20	20.00	21.00	L,A,S	1.92	0.30	1.000	24,000	19,200	15360

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 58 di 95

10.3 CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

Di seguito si riportano alcune immagini del modello in cui sono visibili le condizioni di carico elementari.

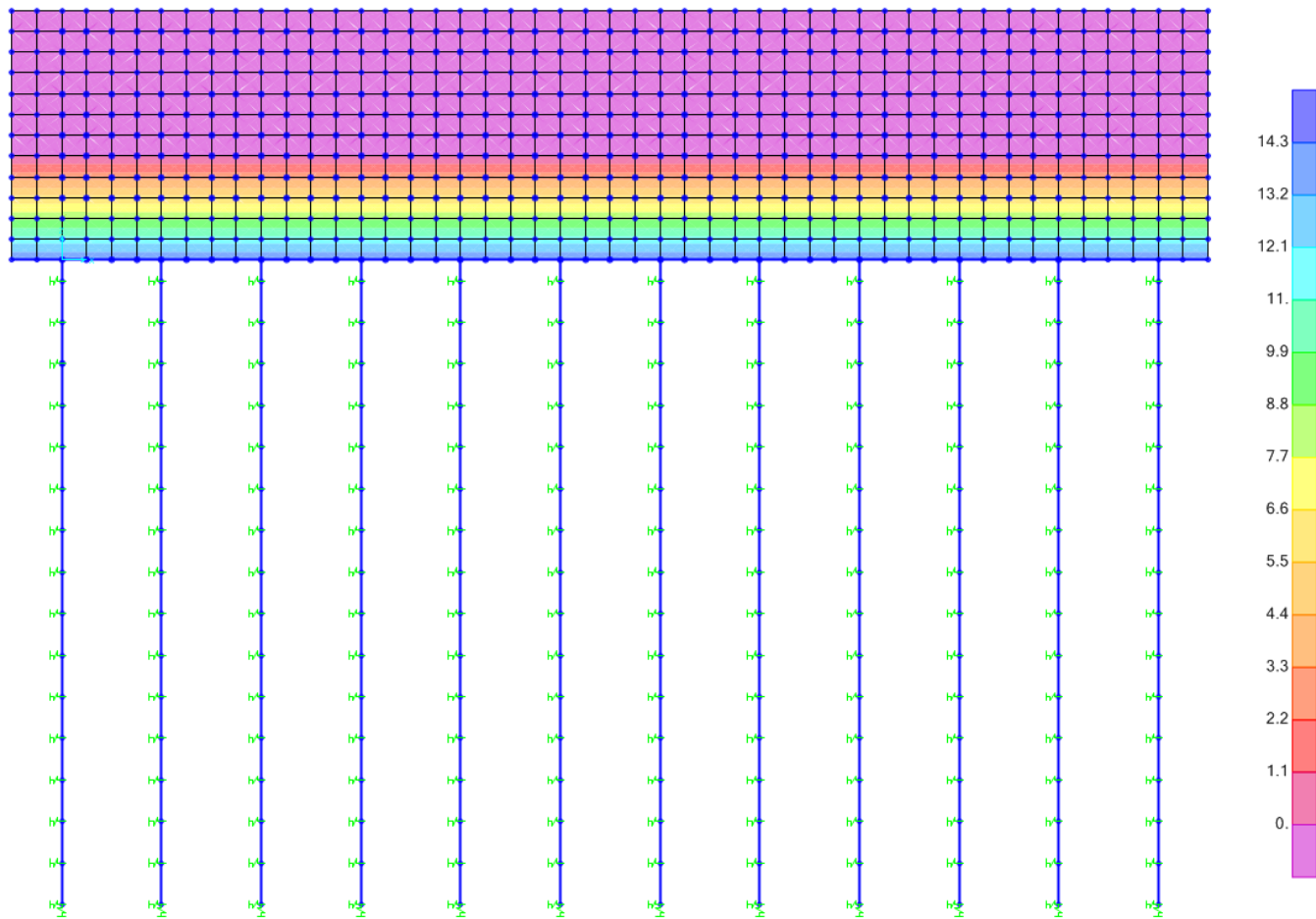


Figura 9 Carichi SPDX

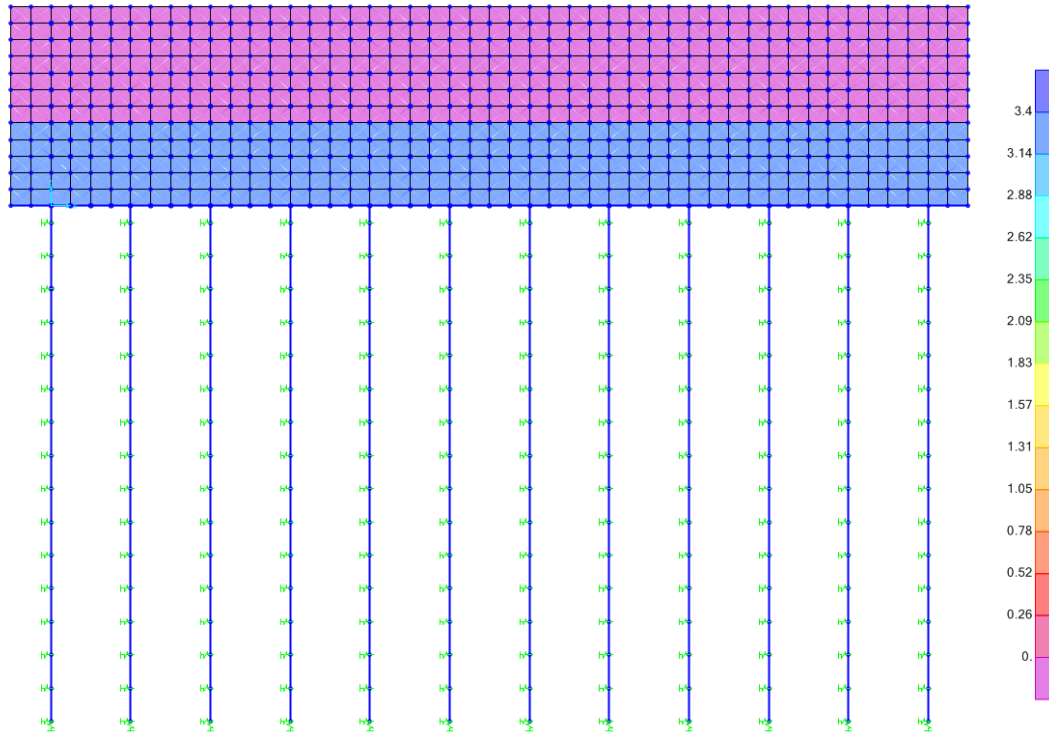


Figura 10 Carichi SP_PERM

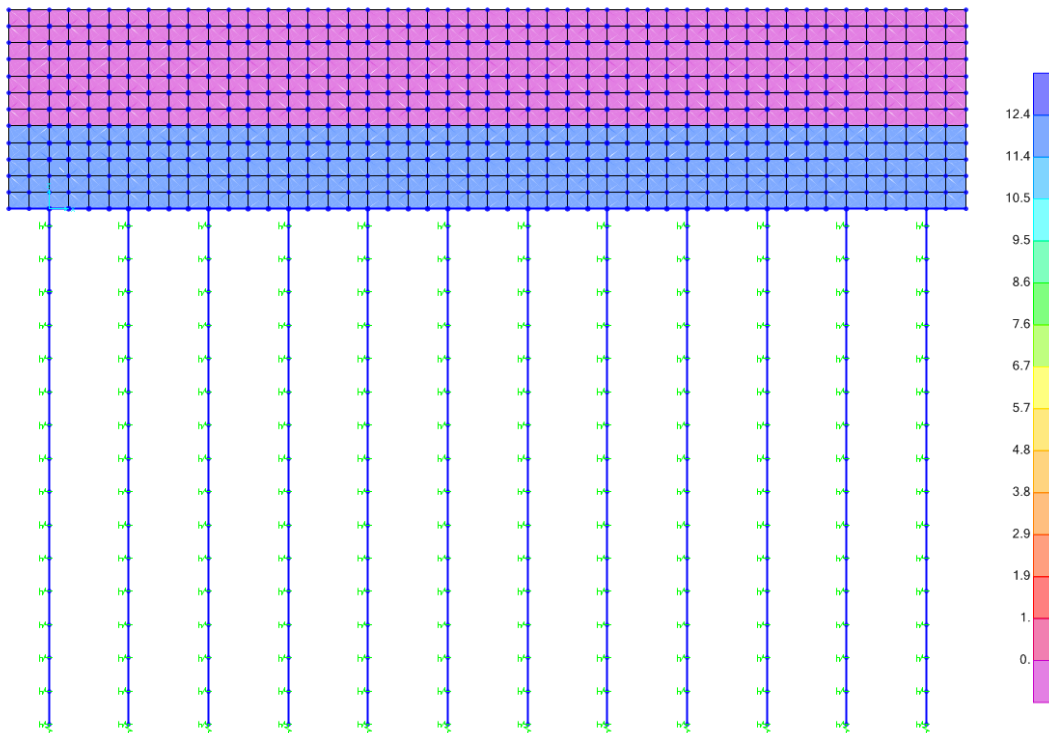


Figura 11 Carichi SP_ACC

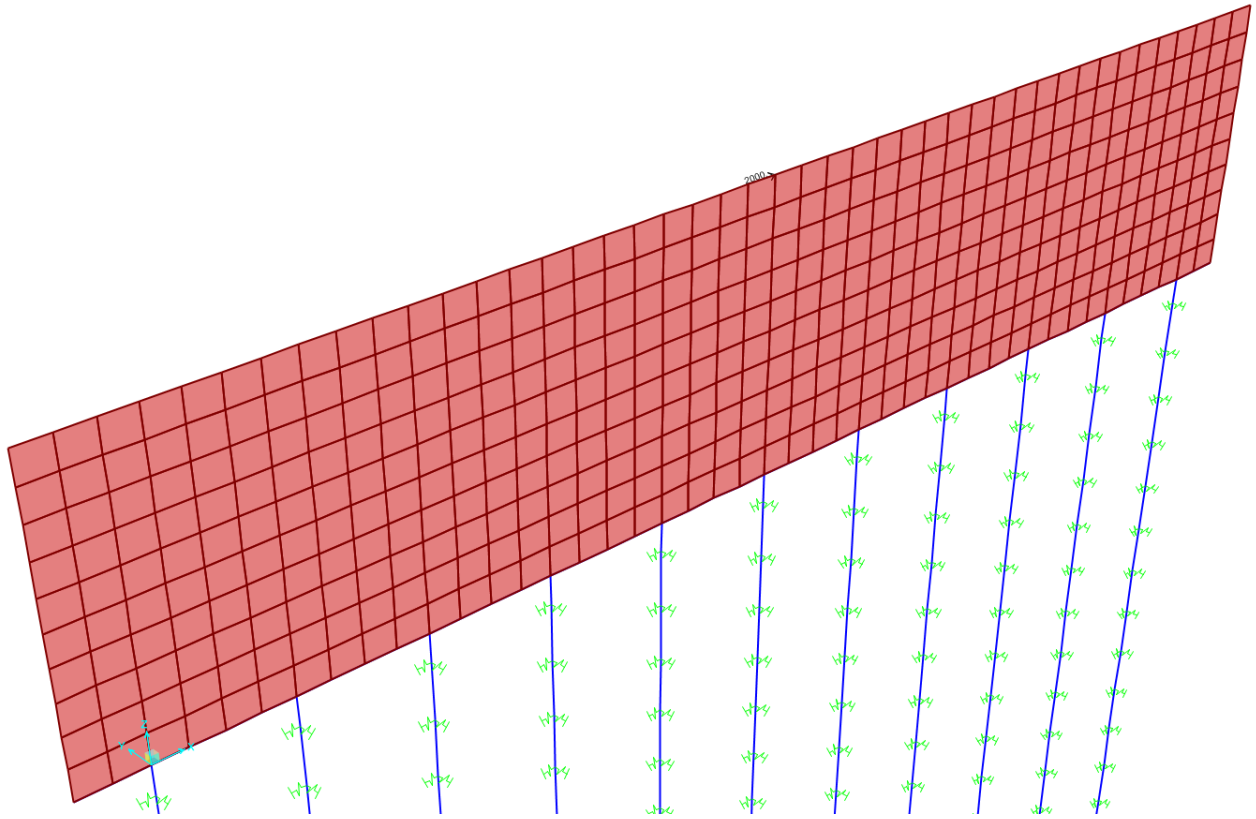


Figura 12 Carichi URTO X1

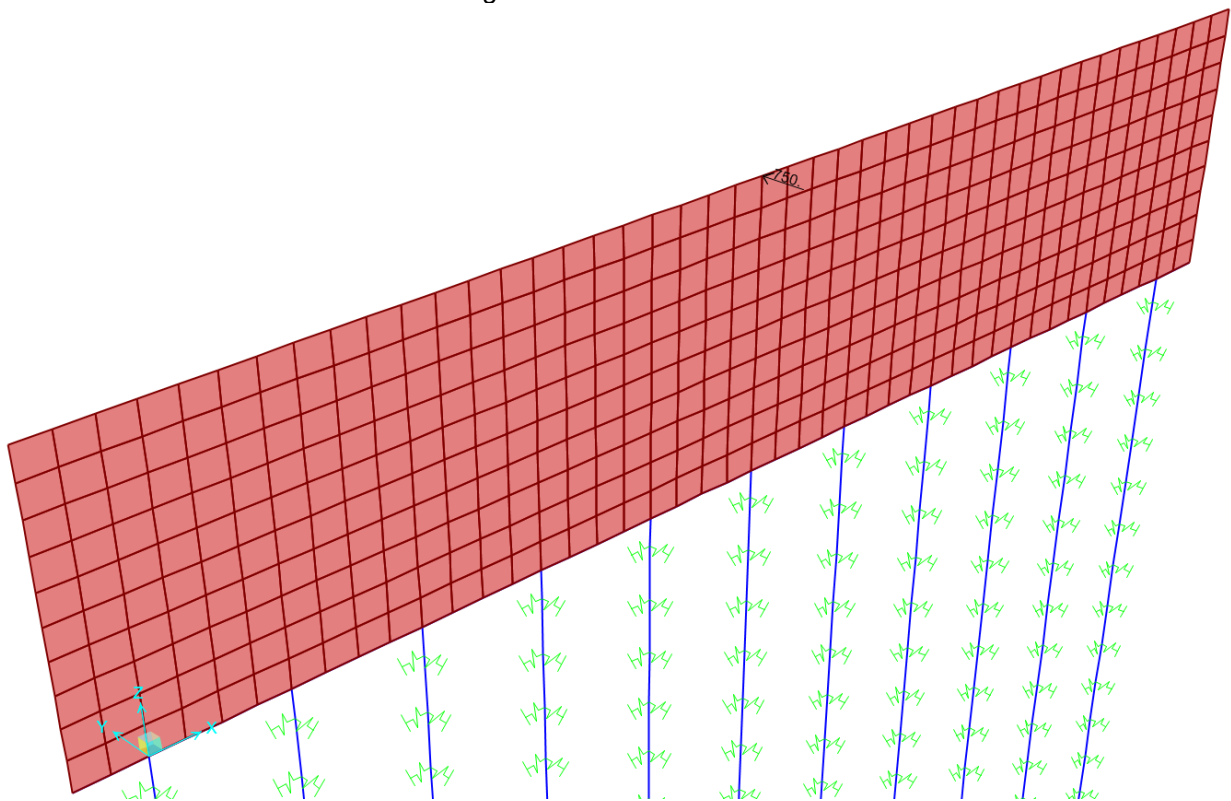


Figura 13 Carichi URTO Y1

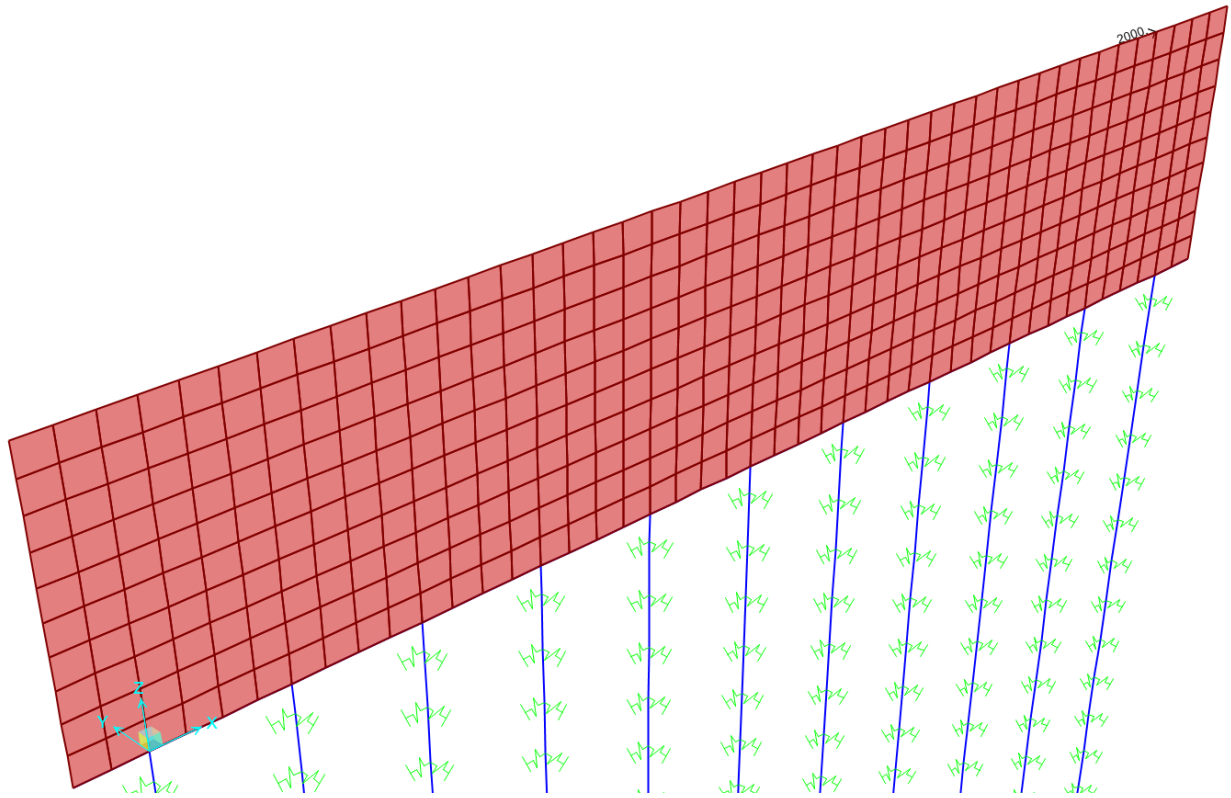


Figura 14 Carichi URTO X2

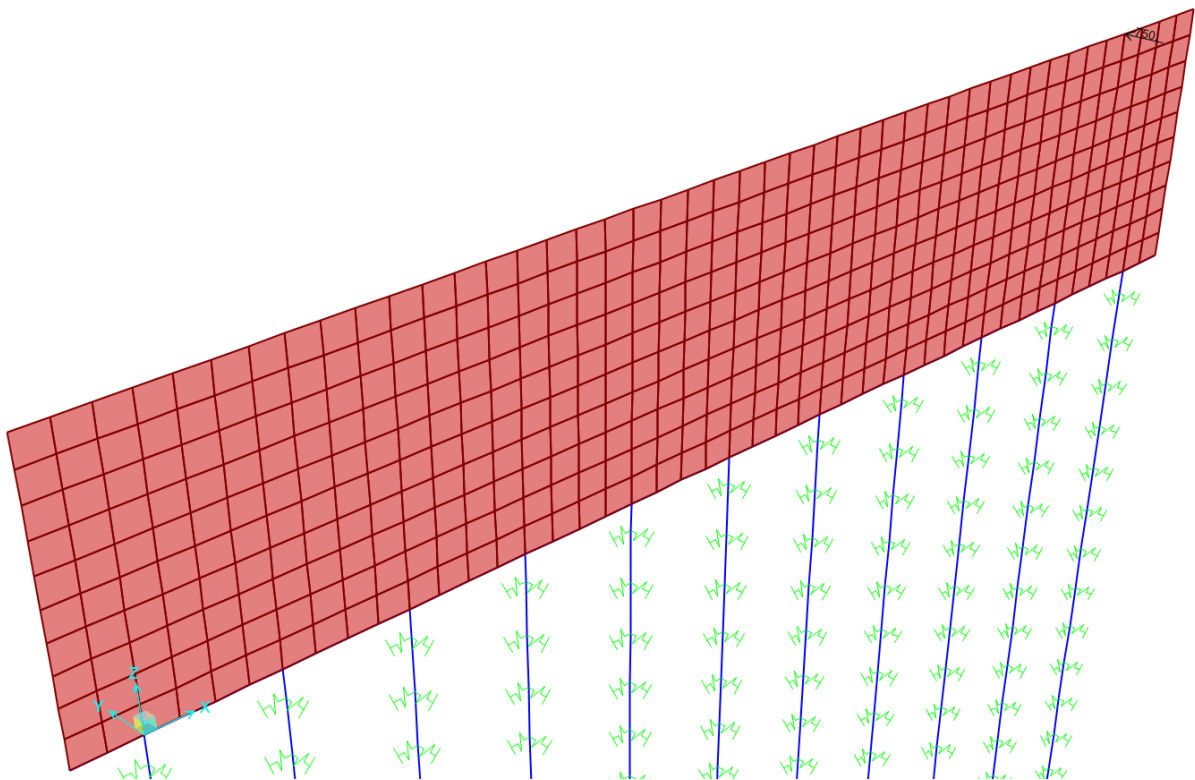


Figura 15 Carichi URTO Y2

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 62 di 95

10.4 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

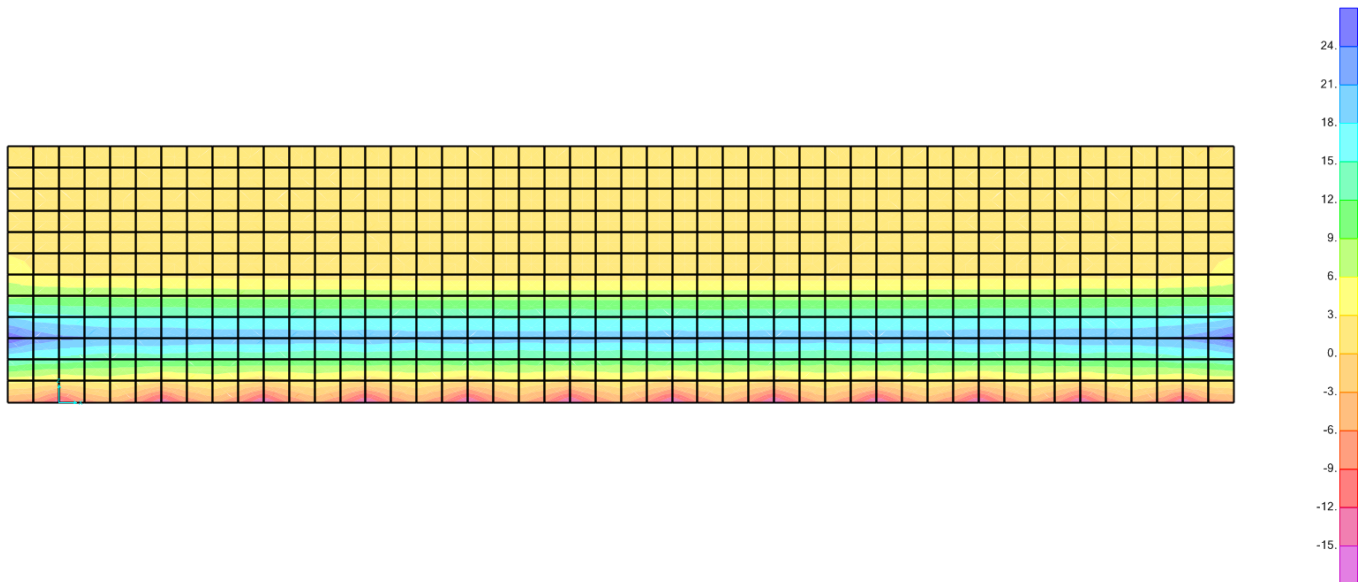


Figura 16 Momento 22 INV. SLU/SLV

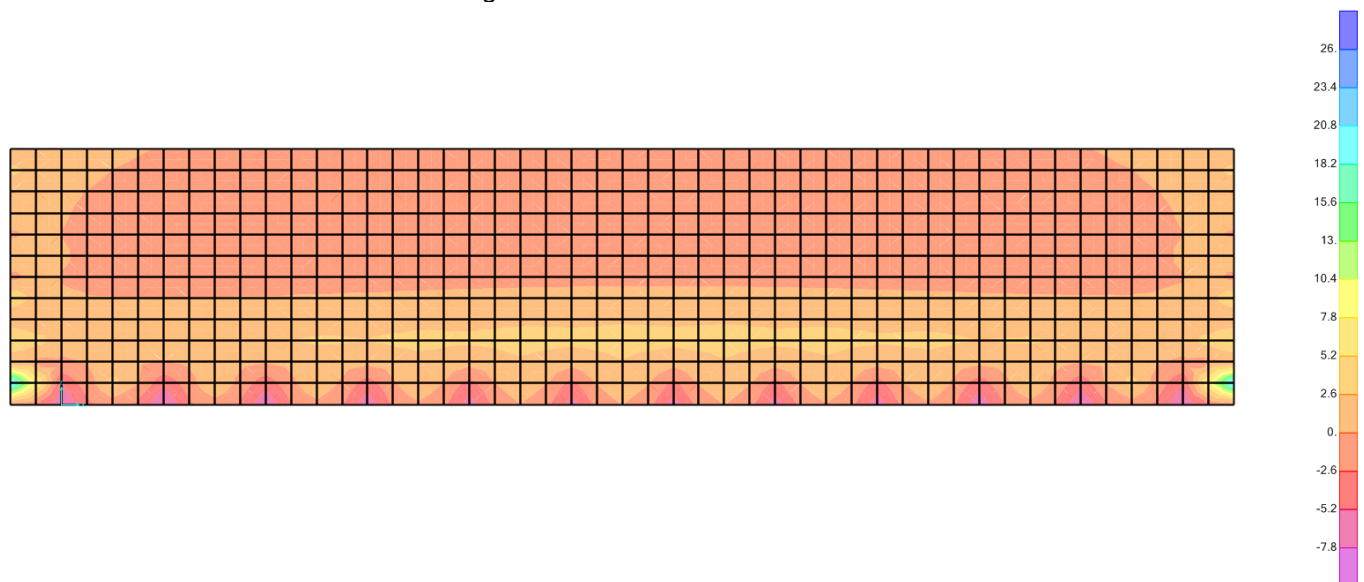


Figura 17 Momento 11 INV. SLU/SLV

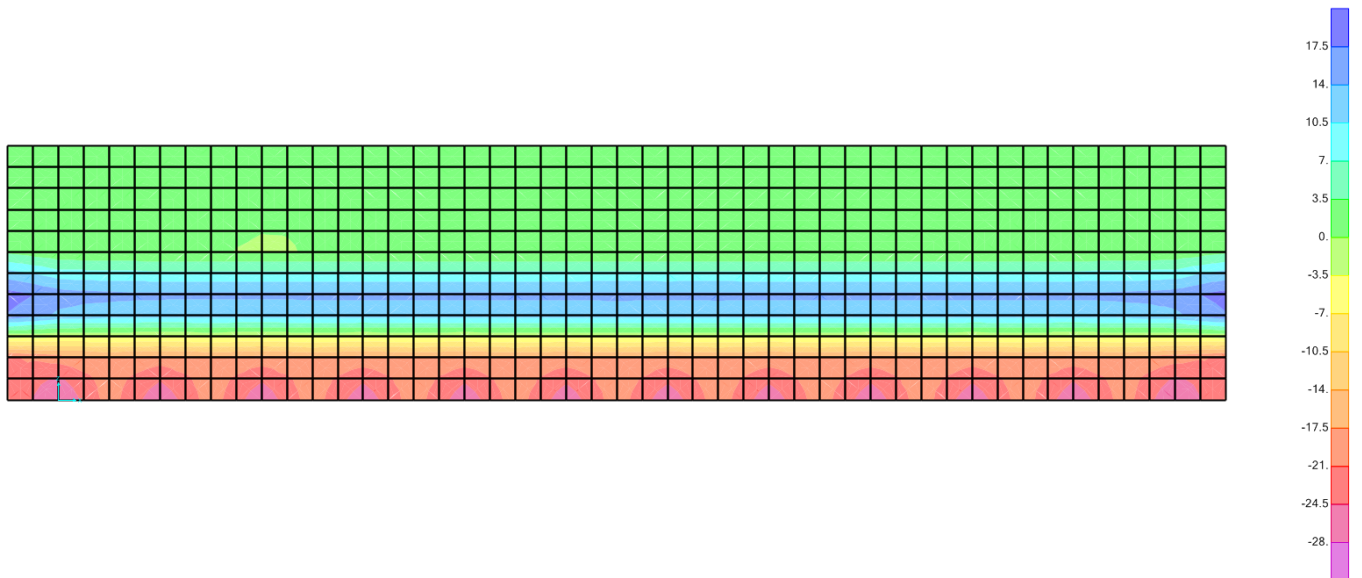


Figura 18 Taglio 23 INV. SLU/SLV

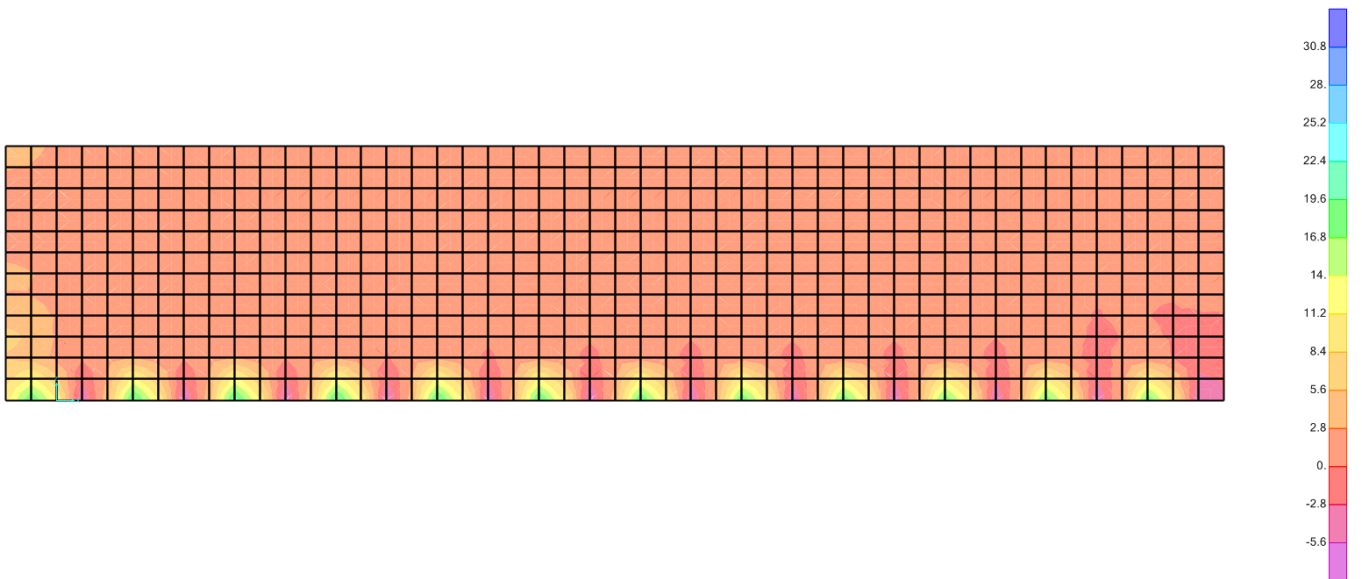


Figura 19 Taglio 13 INV. SLU/SLV

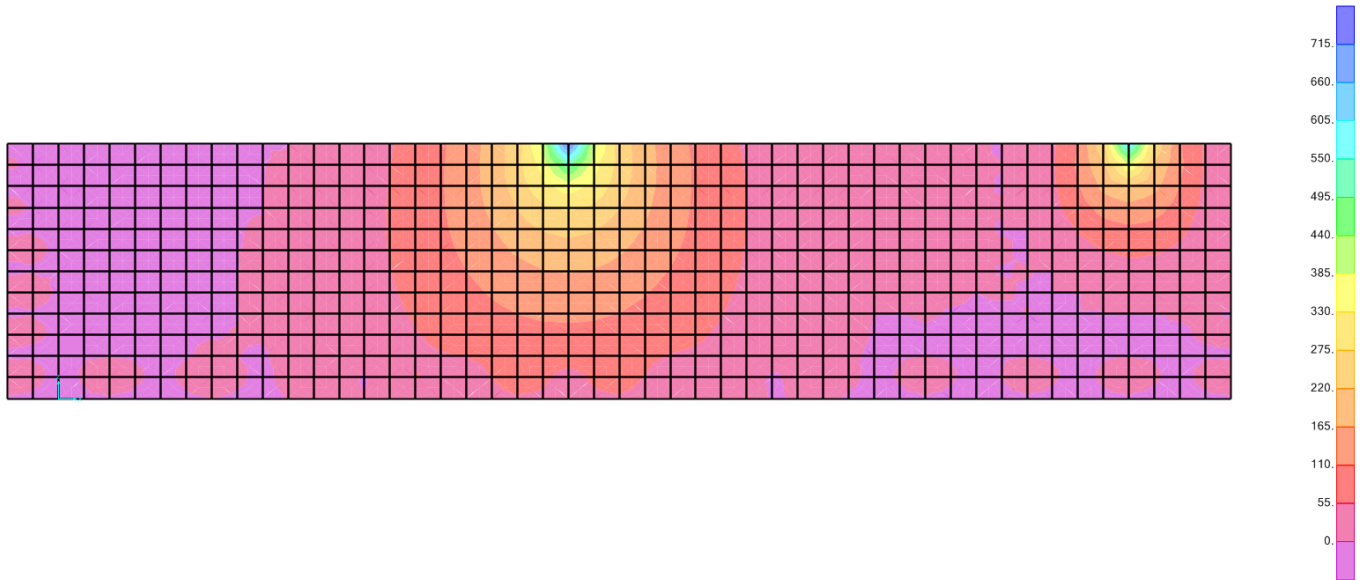


Figura 20 Momento 11 ECC_URTO

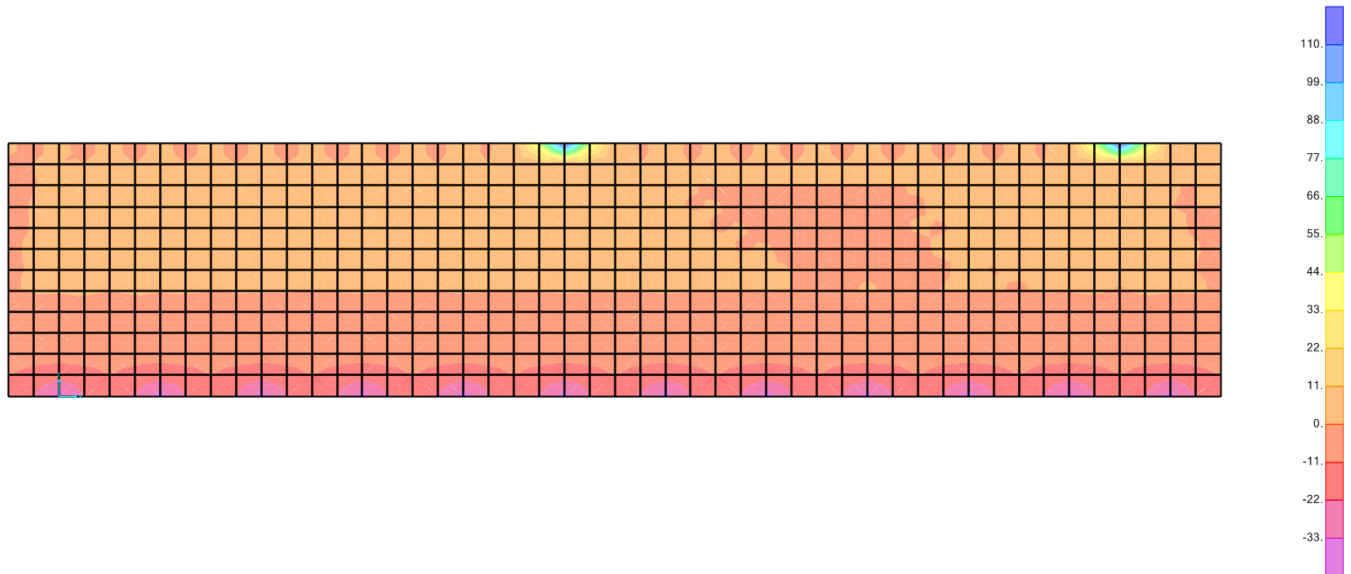


Figura 21 Momento 22 INV. ECC_URTO

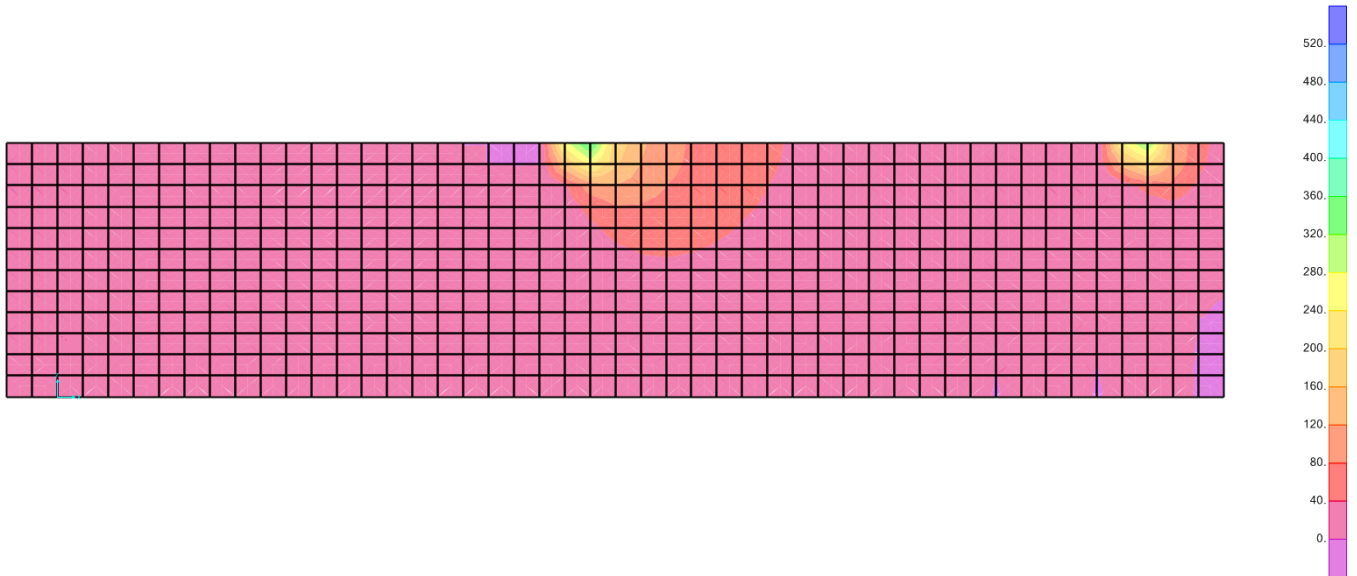


Figura 22 Taglio 13 ECC_URTO

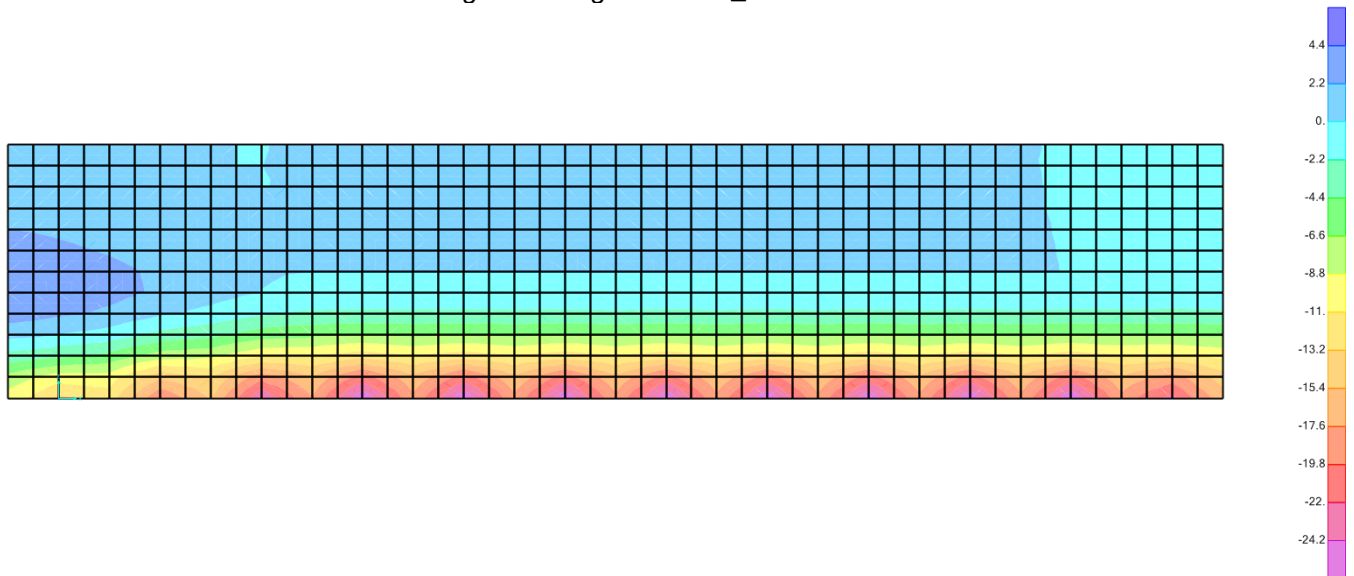


Figura 23 Taglio 23 ECC_URTO

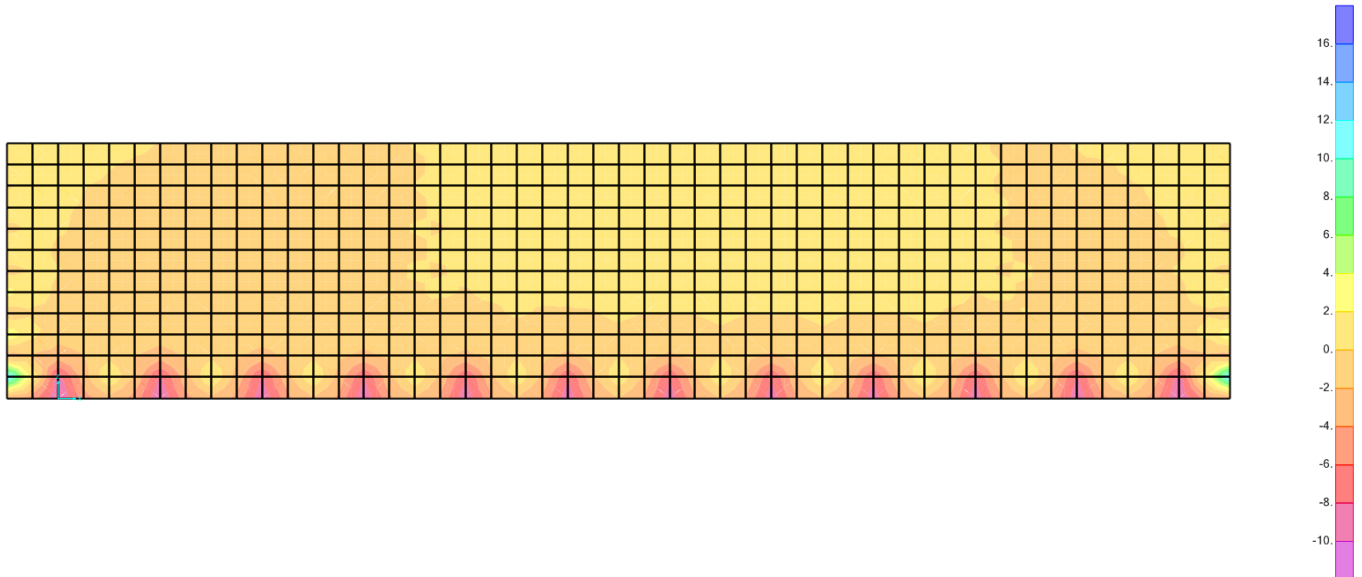


Figura 24 Momento 11 INV. SLE

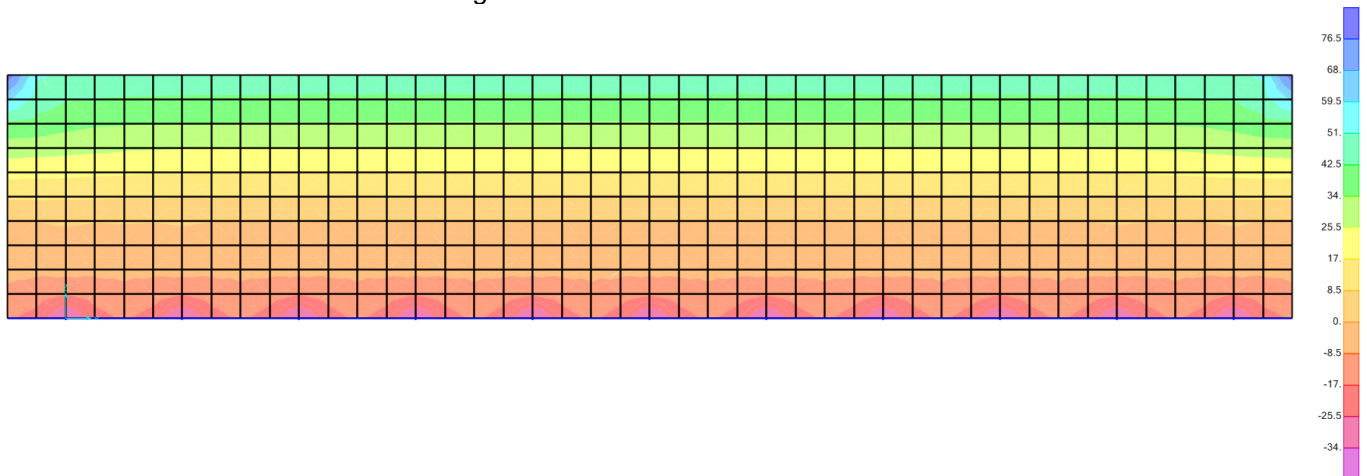


Figura 25 Momento 22 INV. SLE

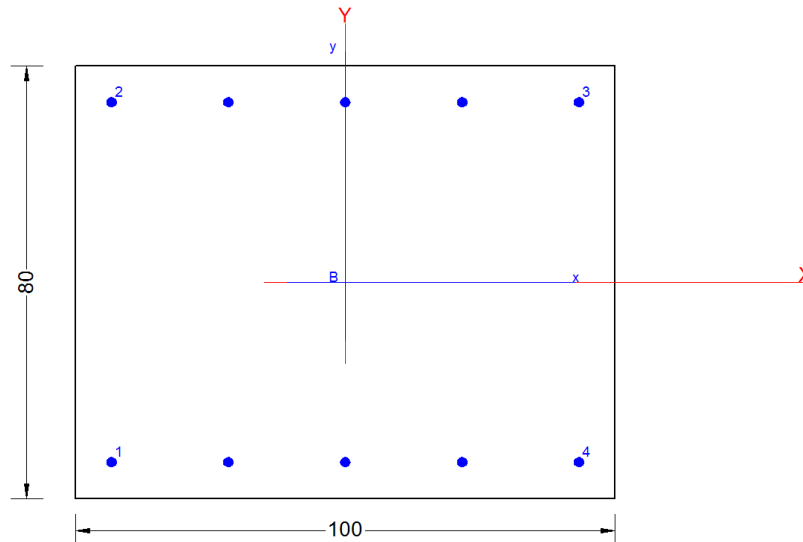
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

11 VERIFICHE STRUTTURALI

11.1 SOLLECITAZIONI PARAMENTO

TABLE: Section Cut Forces - Design						
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	P	V3	M2
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN-m
SCUT_BASE MURO	SLU1	Combination	Min	141.83	-67.00	-124.74
SCUT_BASE MURO	SLU2	Combination	Min	141.78	-67.99	-167.04
SCUT_BASE MURO	SLU3	Combination	Min	141.70	-60.49	-118.19
SCUT_BASE MURO	SLU4	Combination	Min	142.40	-67.00	-124.74
SCUT_BASE MURO	SLU5	Combination	Min	142.36	-67.99	-167.04
SCUT_BASE MURO	SLU6	Combination	Min	142.27	-60.49	-118.19
SCUT_BASE MURO	SLV_1	Combination	Min	107.47	-52.29	-74.18
SCUT_BASE MURO	SLV_2	Combination	Min	102.52	-52.29	-74.18
SCUT_BASE MURO	SLV_3	Combination	Min	107.47	31.00	52.80
SCUT_BASE MURO	SLV_4	Combination	Min	102.52	31.00	52.80
SCUT_BASE MURO	SLV_5	Combination	Min	113.25	-23.14	-29.74
SCUT_BASE MURO	SLV_6	Combination	Min	96.74	-23.14	-29.74
SCUT_BASE MURO	SLV_7	Combination	Min	113.25	1.85	8.35
SCUT_BASE MURO	SLV_8	Combination	Min	96.74	1.85	8.35
SCUT_BASE MURO	ECC1	Combination	Min	97.83	-16.49	-13.15
SCUT_BASE MURO	ECC2	Combination	Min	104.99	-42.33	-144.60
SCUT_BASE MURO	ECC3	Combination	Min	104.99	-32.78	-136.82
SCUT_BASE MURO	ECC4	Combination	Min	95.63	-16.48	-13.12
SCUT_BASE MURO	SLE_R1	Combination	Min	104.98	-46.45	-84.61
SCUT_BASE MURO	SLE_R2	Combination	Min	104.98	-46.96	-112.66
SCUT_BASE MURO	SLE_R3	Combination	Min	104.92	-41.95	-80.06
SCUT_BASE MURO	SLE_R4	Combination	Min	105.46	-46.45	-84.61
SCUT_BASE MURO	SLE_R5	Combination	Min	105.46	-46.96	-112.66
SCUT_BASE MURO	SLE_R6	Combination	Min	105.40	-41.95	-80.06
SCUT_BASE MURO	SLE_QP	Combination	Min	104.99	-16.48	-13.12

11.2 VERIFICHE PARAMENTO



CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resis. compr. di progetto f_{cd} :	17.000	MPa
	Def.unit. max resistenza $ec2$:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu :	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale E_c :	32836.0	MPa
	Resis. media a trazione f_{ctm} :	2.900	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
Resist. caratt. snervam. f_{yk} :		450.00	MPa
Resist. caratt. rottura f_{tk} :		450.00	MPa
Resist. snerv. di progetto f_{yd} :		391.30	MPa
Resist. ultima di progetto f_{td} :		391.30	MPa
Deform. ultima di progetto E_{pu} :		0.068	
Modulo Elastico E_f :		2000000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:		0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	315.00	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-40.0
2	-50.0	40.0

3	50.0	40.0
4	50.0	-40.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.8	-33.8	20
2	-43.8	33.8	20
3	43.8	33.8	20
4	43.8	-33.8	20

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	20
2	2	3	3	20

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	141.83	-124.74	-67.00	0.00	0.00
2	141.78	-167.04	-67.99	0.00	0.00
3	141.70	-118.19	-60.49	0.00	0.00
4	142.40	-124.74	-67.00	0.00	0.00
5	142.36	-167.04	-67.99	0.00	0.00
6	142.27	-118.19	-60.49	0.00	0.00
7	107.47	-74.18	-52.29	0.00	0.00
8	102.52	-74.18	-52.29	0.00	0.00
9	107.47	52.80	31.00	0.00	0.00
10	102.52	52.80	31.00	0.00	0.00
11	113.25	-29.74	-23.14	0.00	0.00
12	96.74	-29.74	-23.14	0.00	0.00
13	113.25	8.35	1.85	0.00	0.00
14	96.74	8.35	1.85	0.00	0.00
15	97.83	-13.15	-16.49	0.00	0.00
16	104.99	-144.60	-42.33	0.00	0.00
17	104.99	-136.82	-32.78	0.00	0.00
18	95.63	-13.12	-16.48	0.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 70 di 95
------------------	------------------	----------------	--------------------------	-----------	--------------------

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	104.98	-84.61	0.00
2	104.98	-112.66	0.00
3	104.92	-80.06	0.00
4	105.46	-84.61	0.00
5	105.46	-112.66	0.00
6	105.40	-80.06	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	104.99	-13.12 (0.00)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	19.9 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	141.83	-124.74	-67.00	141.63	-482.50	-260.81	3.87	31.4(24.0)
2	S	141.78	-167.04	-67.99	141.80	-487.32	-196.14	2.91	31.4(24.0)
3	S	141.70	-118.19	-60.49	141.79	-483.65	-247.44	4.09	31.4(24.0)
4	S	142.40	-124.74	-67.00	142.51	-482.81	-260.80	3.88	31.4(24.0)
5	S	142.36	-167.04	-67.99	142.19	-487.46	-196.13	2.91	31.4(24.0)
6	S	142.27	-118.19	-60.49	142.22	-483.80	-247.44	4.09	31.4(24.0)
7	S	107.47	-74.18	-52.29	107.61	-464.53	-327.60	6.26	31.4(24.0)
8	S	102.52	-74.18	-52.29	102.35	-462.77	-327.40	6.25	31.4(24.0)
9	S	107.47	52.80	31.00	107.24	469.37	276.70	8.90	31.4(24.0)

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 71 di 95
------------------	------------------	----------------	--------------------------	-----------	--------------------

10	S	102.52	52.80	31.00	102.76	467.84	276.65	8.88	31.4(24.0)
11	S	113.25	-29.74	-23.14	113.11	-461.40	-359.53	15.52	31.4(24.0)
12	S	96.74	-29.74	-23.14	96.69	-456.02	-357.56	15.38	31.4(24.0)
13	S	113.25	8.35	1.85	113.53	481.98	107.17	57.73	31.4(24.0)
14	S	96.74	8.35	1.85	96.86	476.22	107.54	57.08	31.4(24.0)
15	S	97.83	-13.15	-16.49	97.68	-398.74	-495.10	30.14	31.4(24.0)
16	S	104.99	-144.60	-42.33	105.05	-477.63	-141.93	3.31	31.4(24.0)
17	S	104.99	-136.82	-32.78	105.21	-478.89	-113.03	3.50	31.4(24.0)
18	S	95.63	-13.12	-16.48	95.56	-395.29	-498.17	30.19	31.4(24.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	-40.0	0.00158	-43.8	-33.8	-0.02009	43.8	33.8
2	0.00350	-50.0	-40.0	0.00125	-43.8	-33.8	-0.02386	43.8	33.8
3	0.00350	-50.0	-40.0	0.00151	-43.8	-33.8	-0.02082	43.8	33.8
4	0.00350	-50.0	-40.0	0.00158	-43.8	-33.8	-0.02008	43.8	33.8
5	0.00350	-50.0	-40.0	0.00125	-43.8	-33.8	-0.02386	43.8	33.8
6	0.00350	-50.0	-40.0	0.00151	-43.8	-33.8	-0.02082	43.8	33.8
7	0.00350	-50.0	-40.0	0.00186	-43.8	-33.8	-0.01693	43.8	33.8
8	0.00350	-50.0	-40.0	0.00185	-43.8	-33.8	-0.01697	43.8	33.8
9	0.00350	50.0	40.0	0.00163	43.8	33.8	-0.01952	-43.8	-33.8
10	0.00350	50.0	40.0	0.00162	43.8	33.8	-0.01956	-43.8	-33.8
11	0.00350	-50.0	-40.0	0.00201	-43.8	-33.8	-0.01521	43.8	33.8
12	0.00350	-50.0	-40.0	0.00200	-43.8	-33.8	-0.01536	43.8	33.8
13	0.00350	50.0	40.0	0.00065	43.8	33.8	-0.03074	-43.8	-33.8
14	0.00350	50.0	40.0	0.00063	43.8	33.8	-0.03098	-43.8	-33.8
15	0.00350	-50.0	-40.0	0.00241	-43.8	-33.8	-0.01130	43.8	33.8
16	0.00350	-50.0	-40.0	0.00088	-43.8	-33.8	-0.02812	43.8	33.8
17	0.00350	-50.0	-40.0	0.00068	-43.8	-33.8	-0.03041	43.8	33.8
18	0.00350	-50.0	-40.0	0.00241	-43.8	-33.8	-0.01131	43.8	33.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	-0.000034565	-0.000275650	-0.009254226	----	----
2	-0.000027650	-0.000335585	-0.011305931	----	----
3	-0.000033119	-0.000287458	-0.009654273	----	----
4	-0.000034553	-0.000275553	-0.009249753	----	----
5	-0.000027646	-0.000335535	-0.011303693	----	----
6	-0.000033113	-0.000287409	-0.009652036	----	----
7	-0.000043130	-0.000222035	-0.007537909	----	----

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 72 di 95
------------------	------------------	----------------	--------------------------	-----------	--------------------

8	-0.000043217	-0.000222484	-0.007560252	---	---
9	0.000036871	0.000265103	-0.008947677	---	---
10	0.000036938	0.000265579	-0.008970038	---	---
11	-0.000048712	-0.000191654	-0.006601745	---	---
12	-0.000049089	-0.000193136	-0.006679883	---	---
13	0.000017190	0.000442065	-0.015042082	---	---
14	0.000017314	0.000445269	-0.015176490	---	---
15	-0.000090910	-0.000084985	-0.004444912	---	---
16	-0.000021699	-0.000400919	-0.013621713	---	---
17	-0.000018020	-0.000436527	-0.014862077	---	---
18	-0.000092568	-0.000083053	-0.004450487	---	---

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.40	50.0	-40.0	-48.1	21.9	33.8	1549	15.7
2	S	1.87	50.0	-40.0	-73.7	21.9	33.8	1549	15.7
3	S	1.32	50.0	-40.0	-44.0	21.9	33.8	1549	15.7
4	S	1.40	50.0	-40.0	-48.0	21.9	33.8	1549	15.7
5	S	1.87	-50.0	-40.0	-73.6	21.9	33.8	1549	15.7
6	S	1.32	50.0	-40.0	-43.9	21.9	33.8	1549	15.7

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
 Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]
 wk Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max * (e_sm - e_cm)$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00027	0	0.500	20.0	52	0.00014 (0.00014)	512	0.074 (0.20)	-422.74	0.00
2	S	-0.00041	0	0.500	20.0	52	0.00022 (0.00022)	512	0.113 (0.20)	-401.41	0.00
3	S	-0.00025	0	0.500	20.0	52	0.00013 (0.00013)	512	0.068 (0.20)	-427.88	0.00
4	S	-0.00027	0	0.500	20.0	52	0.00014 (0.00014)	512	0.074 (0.20)	-423.16	0.00
5	S	-0.00041	0	0.500	20.0	52	0.00022 (0.00022)	512	0.113 (0.20)	-401.68	0.00
6	S	-0.00025	0	0.500	20.0	52	0.00013 (0.00013)	512	0.067 (0.20)	-428.33	0.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 73 di 95
------------------	------------------	----------------	--------------------------	-----------	--------------------

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.23	-50.0	-40.0	0.5	43.8	33.8	---	---

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	0.00000	0.00000	---	---	---	---	---	0.000 (0.20)	0.00	0.00

VERIFICA A TAGLIO

SEZIONE

bw	=	100	cm
h	=	80	cm
c	=	6.2	cm
d	=	h-c	= 73.8 cm

MATERIALI

fywd	=	391.30	MPa
Rck	=	37	MPa
gc	=	1.5	
fck	=	0.83xRck	= 30.71 MPa
fcd	=	0.85xfck/gc	= 17.40 MPa

ARMATURE A TAGLIO

øst	=	12	
braccia	=	2.5	
øst2	=	0	
braccia	=	0	
passo	=	40	cm
(Asw / s)	=	7.069	cm ² / m
a	=	90	°(90° staffe verticali)

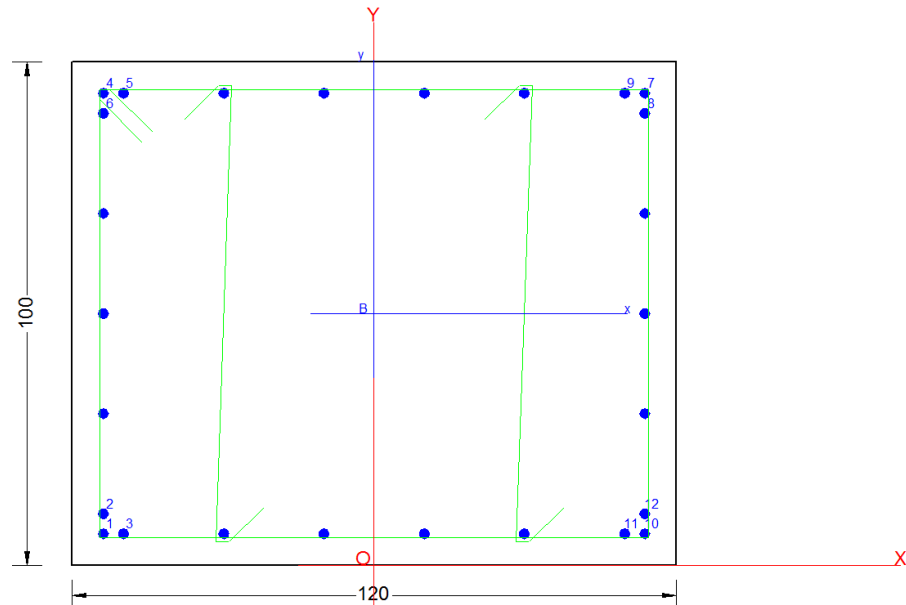
VRsd	=	459.29	(KN)
VRcd	=	1992.87	(KN)
VRd	=	459	(KN)

11.3 SOLLECITAZIONI CORDOLO

SLU/SLV							
	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame
	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
MAX	715.13	36.16	23.55	22.86	278.83	51.17	183_Max - St_0.0-INV_SLU
	188.82	240.63	68.51	127.70	71.13	-35.98	88_Max - St_0.6-INV_SLU
	543.20	180.00	107.62	236.06	90.21	52.35	201_Max - St_0.0-INV_SLU
	660.56	175.99	73.24	268.22	102.74	35.29	193_Max - St_0.0-INV_SLU
	677.96	174.56	69.63	114.48	310.81	14.25	181_Max - St_0.0-INV_SLU
	428.80	102.75	20.32	35.85	86.25	145.03	162_Max - St_0.0-INV_SLU
	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame
	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
MIN	-148.40	35.93	-20.42	-366.64	-226.76	-43.19	197_Min - St_0.0-INV_SLU
	-28.62	-240.63	-109.01	-214.37	-149.58	-205.77	89_Min - St_0.0-INV_SLU
	-28.62	-240.63	-109.01	-214.37	-149.58	-205.77	89_Min - St_0.0-INV_SLU
	-83.98	175.99	-70.39	-592.57	-264.30	-119.58	194_Min - St_0.0-INV_SLU
	-79.02	8.57	-6.36	-407.43	-287.68	-42.88	192_Min - St_0.6-INV_SLU
	-28.62	79.25	-22.69	-44.46	-17.43	-205.77	88_Min - St_0.6-INV_SLU

SLE							
	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame
	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
MAX	573.27	-27.32	-6.70	-7.12	0.82	13.73	183_Max - St_0.0-INV.SLE
	158.84	181.67	47.75	86.54	5.79	-29.61	88_Max - St_0.6-INV.SLE
	438.20	141.92	48.95	77.37	29.15	16.98	169_Max - St_0.0-INV.SLE
	158.84	163.67	47.75	86.54	33.86	2.19	88_Max - St_0.0-INV.SLE
	352.89	155.83	48.67	79.51	34.13	18.82	165_Max - St_0.0-INV.SLE
	440.02	-17.55	-22.40	-13.03	31.53	39.41	166_Max - St_0.6-INV.SLE
	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame
	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
MIN	-77.72	-27.32	-6.70	-7.12	0.82	13.73	182_Min - St_0.0-INV.SLE
	158.84	-181.67	47.75	86.54	5.79	-29.61	89_Min - St_0.0-INV.SLE
	438.20	141.92	-48.95	77.37	29.15	16.98	198_Min - St_0.0-INV.SLE
	-47.07	-143.02	-47.11	-90.20	-11.63	-90.31	162_Min - St_0.0-INV.SLE
	352.89	155.83	48.67	79.51	-13.57	18.82	182_Min - St_0.0-INV.SLE
	440.02	-17.55	-22.40	-13.03	31.53	-157.81	88_Min - St_0.6-INV.SLE

Coprif. netto minimo barre long.: 5.2 cm Coprif. netto staffe: 4.0 cm



CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa	
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 MPa	
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa	
	Resis. media a trazione fctm:	2.900 MPa	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
		Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm ²	
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:		0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	337.50 MPa		

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-60.0	0.0
2	-60.0	100.0
3	60.0	100.0
4	60.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-53.8	6.2	20
2	-53.8	10.2	20
3	-49.8	6.2	20
4	-53.8	93.8	20
5	-49.8	93.8	20
6	-53.8	89.8	20
7	53.8	93.8	20
8	53.8	89.8	20
9	49.8	93.8	20
10	53.8	6.2	20
11	49.8	6.2	20
12	53.8	10.2	20

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	5	9	4	20
2	3	11	4	20
3	6	2	3	20
4	8	12	3	20

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	12 mm
Passo staffe e legature:	10.0 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale
N° Legature:	2
Diam. Legature:	12

Indicazione Barre Longitudinali di estremità delle legature:

N°Legat.	Barra 1	Barra 2
1	13	17
2	16	20

Coordinate Barre generate di estremità delle legature:

N°Barra	X[cm]	Y[cm]
13	-29.9	93.8
17	-29.9	6.2
16	29.9	93.8
20	29.9	6.2

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inertzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N° Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	-715.13	51.17	278.83	36.16	23.55
2	-188.82	-35.98	71.13	240.63	68.51
3	-543.20	52.35	90.21	180.00	107.62
4	-660.56	35.29	102.74	175.99	73.24
5	-677.96	14.25	310.81	174.56	69.63
6	-428.80	145.03	86.25	102.75	20.32
7	148.40	-43.19	-226.76	35.93	-20.42
8	28.62	-205.77	-149.58	-240.63	-109.01
9	28.62	-205.77	-149.58	-240.63	-109.01
10	83.98	-119.58	-264.30	175.99	-70.39
11	79.02	-42.88	-287.68	8.57	-6.36
12	28.62	-205.77	-17.43	79.25	-22.69

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	-573.27	13.73	0.82
2	-158.84	-29.61	5.79
3	-438.20	16.98	29.15
4	-158.84	2.19	33.86
5	-352.89	18.82	34.13
6	-440.02	39.41	31.53
7	77.72	13.73	0.82
8	-158.84	-29.61	5.79
9	-438.20	16.98	29.15
10	47.07	-90.31	-11.63
11	-352.89	18.82	-13.57
12	-440.02	-127.81	31.53

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.0 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA IAGF LOTTO 03 D 29 CODIFICA CL DOCUMENTO RI 0005 004 REV. A FOGLIO 78 di 95

Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	-715.13	51.17	278.83	-715.19	175.88	940.74	3.38	44.0(20.4)
2	S	-188.82	-35.98	71.13	-188.87	-491.13	966.02	13.59	44.0(22.1)
3	S	-543.20	52.35	90.21	-543.43	454.36	789.37	8.73	44.0(22.3)
4	S	-660.56	35.29	102.74	-660.45	300.41	871.47	8.49	47.1(21.4)
5	S	-677.96	14.25	310.81	-678.26	46.78	1046.51	3.37	47.1(19.4)
6	S	-428.80	145.03	86.25	-428.79	786.79	464.51	5.41	44.0(21.6)
7	S	148.40	-43.19	-226.76	148.33	-248.45	-1314.73	5.80	44.0(20.1)
8	S	28.62	-205.77	-149.58	28.76	-882.08	-647.33	4.30	44.0(20.1)
9	S	28.62	-205.77	-149.58	28.76	-882.08	-647.33	4.30	44.0(20.1)
10	S	83.98	-119.58	-264.30	83.78	-498.18	-1109.61	4.19	40.8(20.1)
11	S	79.02	-42.88	-287.68	79.02	-200.53	-1311.40	4.56	44.0(20.1)
12	S	28.62	-205.77	-17.43	28.73	-1160.05	-97.12	5.64	44.0(20.1)

METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00053	0.214	60.0	100.0	0.00039	53.8	93.8	-0.00196	-53.8	6.2
2	0.00082	0.295	60.0	0.0	0.00066	53.8	6.2	-0.00196	-53.8	93.8
3	0.00071	0.267	60.0	100.0	0.00056	53.8	93.8	-0.00196	-53.8	6.2
4	0.00062	0.240	60.0	100.0	0.00047	53.8	93.8	-0.00196	-53.8	6.2
5	0.00046	0.189	60.0	100.0	0.00032	53.8	93.8	-0.00196	-53.8	6.2
6	0.00073	0.271	60.0	100.0	0.00056	53.8	93.8	-0.00196	-53.8	6.2
7	0.00078	0.285	-60.0	0.0	0.00062	-53.8	6.2	-0.00196	53.8	93.8
8	0.00089	0.314	-60.0	0.0	0.00072	-53.8	6.2	-0.00196	53.8	93.8
9	0.00089	0.314	-60.0	0.0	0.00072	-53.8	6.2	-0.00196	53.8	93.8
10	0.00088	0.311	-60.0	0.0	0.00072	-53.8	6.2	-0.00196	53.8	93.8
11	0.00074	0.274	-60.0	0.0	0.00059	-53.8	6.2	-0.00196	53.8	93.8
12	0.00066	0.254	-60.0	0.0	0.00049	-53.8	6.2	-0.00196	53.8	93.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000018864	0.000003653	-0.000964291	0.214	0.708
2	0.000016244	-0.000009890	-0.000154908	0.295	0.809
3	0.000014724	0.000010600	-0.001230091	0.267	0.774
4	0.000017271	0.000006506	-0.001067686	0.240	0.740
5	0.000020437	0.000000937	-0.000862790	0.189	0.700

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IA6F 03 D 29 CL RI 0005 004 A 79 di 95

6	0.000006767	0.000020386	-0.001718807	0.271	0.778
7	-0.000020472	-0.000004317	-0.000450143	0.285	0.796
8	-0.000008687	-0.000019845	0.000372314	0.314	0.832
9	-0.000008687	-0.000019845	0.000372314	0.314	0.832
10	-0.000017421	-0.000009153	-0.000160679	0.311	0.829
11	-0.000020770	-0.000003514	-0.000509431	0.274	0.782
12	-0.000001199	-0.000026490	0.000592758	0.254	0.757

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 12 mm
Diam. Legature: 12 mm
Passo staffe e legature: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = proiezione di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta- sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	29.99	4061.51	878.24	110.3	96.3	1.000	1.000	0.8	22.6(0.0)
2	S	66.62	3726.01	1017.13	109.5	88.9	1.000	1.000	1.7	26.4(3.7)
3	S	192.51	3415.67	1070.60	113.4	78.7	1.000	1.000	4.8	26.8(4.2)
4	S	130.58	3837.10	972.61	109.3	91.8	1.000	1.000	3.4	25.3(2.7)
5	S	77.56	4284.68	898.05	112.7	99.4	1.000	1.000	2.0	22.6(0.0)
6	S	103.92	3978.13	1015.25	94.0	110.6	1.000	1.000	3.1	30.7(8.0)
7	S	12.57	4108.99	939.15	109.8	97.1	1.000	1.007	0.3	24.3(1.7)
8	S	264.14	3952.94	1004.52	95.2	108.4	1.000	1.001	7.9	30.0(7.4)
9	S	264.14	3952.94	1004.52	95.2	108.4	1.000	1.001	7.9	30.0(7.4)
10	S	19.54	3896.83	984.32	107.5	94.4	1.000	1.004	0.5	26.0(3.4)
11	S	4.85	4143.03	932.09	110.3	97.8	1.000	1.004	0.1	24.0(1.4)
12	S	78.14	4271.70	1445.89	93.2	119.6	1.000	1.001	2.4	44.0(21.4)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata / N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.00	60.0	100.0	-75.4	-53.8	6.2	6848	81.7
2	S	0.00	60.0	0.0	-32.0	-53.8	93.8	6848	81.7
3	S	0.00	60.0	100.0	-69.0	-53.8	6.2	6848	81.7

RELAZIONE DI CALCOLO

 COMMESSA **IA6F** LOTTO **03 D 29** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **RI 0005 004** REV. **A** FOGLIO **80 di 95**

4	S	0.00	60.0	100.0	-30.9	-53.8	6.2	6848	81.7
5	S	0.00	60.0	100.0	-60.7	-53.8	6.2	6848	81.7
6	S	0.00	60.0	100.0	-78.0	-53.8	6.2	6848	81.7
7	S	0.12	60.0	100.0	0.1	-53.8	6.2	0	0.0
8	S	0.00	60.0	0.0	-32.0	-53.8	93.8	6848	81.7
9	S	0.00	60.0	100.0	-69.0	-53.8	6.2	6848	81.7
10	S	0.78	-60.0	0.0	-25.5	53.8	93.8	2292	31.4
11	S	0.00	-60.0	100.0	-54.3	53.8	6.2	6848	81.7
12	S	0.55	60.0	0.0	-109.3	-53.8	93.8	2574	34.6

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area A_c eff
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace A_c eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \cdot max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00038	-0.00032	0.922	20.0	52	0.00023 (0.00023)	702	0.159 (0.20)	80.50	4.81
2	S	-0.00017	-0.00003	0.577	20.0	52	0.00010 (0.00010)	506	0.049 (0.20)	-323.01	63.12
3	S	-0.00035	-0.00018	0.757	20.0	52	0.00021 (0.00021)	608	0.126 (0.20)	97.25	166.97
4	S	-0.00016	-0.00003	0.603	20.0	52	0.00009 (0.00009)	521	0.048 (0.20)	25.48	394.16
5	S	-0.00031	-0.00012	0.686	20.0	52	0.00018 (0.00018)	568	0.104 (0.20)	116.85	211.87
6	S	-0.00041	-0.00013	0.664	20.0	52	0.00023 (0.00023)	555	0.130 (0.20)	187.08	149.67
7	S	0.00000	0	0.664	20.0	52	0.00023 (0.00023)	0	0.000 (0.20)	18135.98	1082.57
8	S	-0.00017	-0.00003	0.577	20.0	52	0.00010 (0.00010)	506	0.049 (0.20)	-323.01	63.12
9	S	-0.00035	-0.00018	0.757	20.0	52	0.00021 (0.00021)	608	0.126 (0.20)	97.25	166.97
10	S	-0.00014	0	0.833	20.0	52	0.00008 (0.00008)	590	0.045 (0.20)	-675.73	-87.03
11	S	-0.00028	-0.00015	0.775	20.0	52	0.00016 (0.00016)	619	0.101 (0.20)	138.39	-99.77
12	S	-0.00058	0	0.833	20.0	52	0.00033 (0.00033)	599	0.196 (0.20)	-376.33	92.84

RISULTATI DEL CALCOLO A TORSIONE SEMPLICE

Ai fini delle verifiche a torsione si considerano solo le 3 barre posizionate sugli angoli della sezione

Momento Torcente Tsdu di calcolo:	59200	daNm
Momento Torc. Resist. Trdu sez. tubolare conglom.:	145911	daNm
Momento Torc. Resist. Trsd sviluppato dalle staffe:	238760	daNm
Momento Torc. Resist. Trld delle barre longitudinali:	60127	daNm

Sezione verificata a torsione semplice

Area A_c del perimetro esterno sezione:	12000	cm ²
Misura P_c del Perimetro esterno sezione:	440	cm
Spessore sez. anulare resistente (= A_c/P_c):	27.3	cm
Area resistente (racchiusa dal perimetro medio):	6744	cm ²
Misura del Perimetro medio sez. tubolare resist.:	331	cm

Area Staffe di calcolo:	2.26	cm ² /m
Staffe progettate:	1 Staffa Ø 12 /20	(4.52 cm ²)
Area barre longitudinali calcolate:	37.69	cm ²
Barre longitudinali progettate:	12 Ø 20	

Sezione verificata a taglio-torsione

Resistenza a taglio di calcolo lato calcestruzzo	VRcd	[kN]	2142.00
Resistenza a torsione di calcolo lato calcestruzzo	TRcd	[kNm]	1459.34
Verifica	βT+βV	[-]	48.79%

12 VERIFICHE GEOTECNICHE

12.1 SOLLECITAZIONI AGENTI A TESTA PALO

I valori massimi delle azioni verticali per la combinazione A1+M1+R3 trasmesse al singolo palo di fondazione risultano:

SLU/SLV							
MAX	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame
	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
	-21.37	135.69	116.27	0.00	198.82	232.02	47_Max - St_1.0-INV_SLU
	-22.65	198.02	113.30	0.00	193.74	338.61	65_Max - St_1.0-INV_SLU
	-22.65	84.21	230.74	0.00	394.57	144.00	486_Max - St_1.0-INV_SLU
MIN	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame
	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
	-615.52	-107.96	-33.88	0.00	-57.94	-184.62	486_Min - St_1.0-INV_SLU
	-615.52	-107.96	-33.88	0.00	-57.94	-184.62	486_Min - St_1.0-INV_SLU
	-615.52	-107.96	-33.88	0.00	-57.94	-184.62	486_Min - St_1.0-INV_SLU

SLE							
MAX	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame
	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
	-383.78	7.36	81.47	0.00	139.32	12.59	47_Max - St_1.0-INV.SLE
	-384.16	82.99	79.52	0.00	135.98	141.90	65_Max - St_1.0-INV.SLE
	-383.78	7.36	81.47	0.00	139.32	12.59	47_Max - St_1.0-INV.SLE
MIN	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame
	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
	-386.08	7.36	81.47	0.00	139.32	12.59	65_Min - St_1.0-INV.SLE
	-384.16	-82.99	79.52	0.00	135.98	-141.90	486_Min - St_1.0-INV.SLE
	-383.78	7.36	42.68	0.00	72.98	12.59	486_Min - St_1.0-INV.SLE


12.2 VERIFICHE DELLA CAPACITÀ PORTANTE

Nelle seguenti verifiche sono state considerate le sollecitazioni trasmesse al singolo palo di fondazione per la combinazione A1+M1+R3, comprensive del peso proprio del palo stesso.

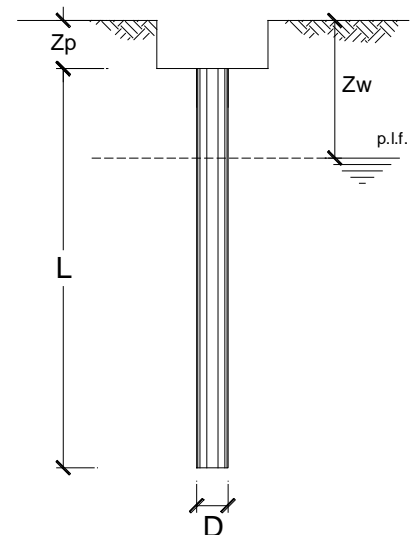
CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

CANTIERE: CHIETI-INTERPORTO D'ABRUZZO MURO di MITIGAZIONE fi800 **OPERA:**

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 0.80 (m) Area del Palo (A_p): 0.503 (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (z_p): 1.00 (m) Quota falda dal p.c. (z_w): 1.00 (m)
 Carico Assiale Permanente (G): 813.36 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 0 (kN)
 Numero di strati 4  Lpalo = 20.00 (m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base			
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γ_b	γ_s	$\gamma_{s\text{ traz}}$	
		γ_G	γ_Q				
SUD	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.70	1.45	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25
DM88		<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		<input checked="" type="radio"/>	1.00	0.00	1.35	1.15	1.25



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ_s	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_u	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c'_{med} (kPa)	ϕ'_{med} (°)	$c_{u\ med}$ (kPa)
1	0.40	L,A1	19.50			60.0
2	6.60	L,A2	19.00			60.0
3	9.30	L,A3	18.50			50.0
4	3.70	L,A,S	20.00			60.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.50
0.00	0.00		0.50
0.00	0.00		0.50
0.00	0.00		0.50

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess (-) (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c'_{min} (kPa)	Φ'_{min} (°)	$c_{u min}$ (kPa)
1	0.40	L,A1	19.50			60.0
2	6.60	L,A2	19.00			30.0
3	9.30	L,A3	18.50			50.0
4	3.70	LA,S	20.00			60.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		0.50
0.00	0.00		0.90
0.00	0.00		0.50
0.00	0.00		0.50

RISULTATI

Strato	Spess (-) (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)
1	0.40	L,A1	30.2					30.2				
2	6.60	L,A2	497.6					447.9				
3	9.30	L,A3	584.3					584.3				
4	0.70	LA,S	279.0	0.00	9.00	938.8	471.9	279.0	0.00	9.00	3987.5	2004.3

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$$

$$N_d = 813.4 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base $R_{b,cal med} = 471.9 \text{ (kN)}$

laterale $R_{s,cal med} = 1391.1 \text{ (kN)}$

totale $R_{c,cal med} = 1863.0 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

base $R_{b,cal min} = 2004.3 \text{ (kN)}$

laterale $R_{s,cal min} = 1341.3 \text{ (kN)}$

totale $R_{c,cal min} = 3345.7 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal med}/\xi_3 ; R_{b,cal min}/\xi_4) = 277.6 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal med}/\xi_3 ; R_{s,cal min}/\xi_4) = 789.0 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 1066.6 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$$R_{c,d} = R_{bk}/\gamma_b + R_{sk}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 891.7 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 1.10$$

Si verifica anche che:

$$R_{c,cal,LAT}/1,25 > N_{ag}$$

dove $R_{c,cal,LAT}$ è la resistenza laterale di calcolo e N_{ag} è il carico agente sul palo determinato per la combinazione caratteristica (rara) impiegata per le verifiche agli stati limiti di esercizio (SLE):

$$R_{c,cal,LAT}/1,25 = 1073,04 \text{ kN} > N_{ag} = 536,88 \text{ kN} \rightarrow \text{verifica soddisfatta.}$$

Dalle verifiche risulta che il palo della lunghezza prevista risulta idoneo a resistere a tutti i carichi trasmessi.

12.3 VERIFICHE AL CARICO LIMITE ORIZZONTALE

Il valore caratteristico dell' azione orizzontale per la combinazione A1+M1+R3 trasmesse al singolo palo di fondazione per il taglio massimo ottenuto, risulta:

$$V_{sd,max} = 230,74 \text{ kN}$$

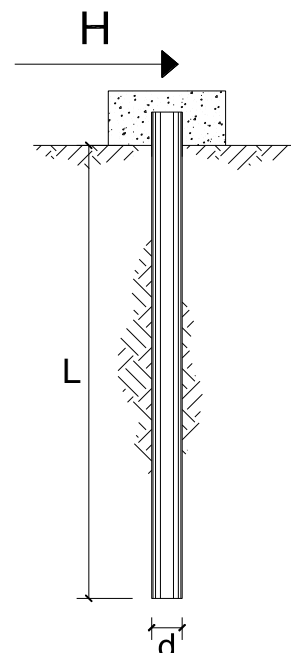
12.3.1 Capacità portante orizzontale – condizioni non drenate

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

OPERA:

TEORIA DI BASE:

(Broms, 1964)



coefficienti parziali			A		M	R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_{cu}	γ_T
			γ_G	γ_Q		
SLU	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	○	1.00	1.30	1.00	1.60
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.30
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		○	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		●	1.00	0.00	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:
$$H = -9c_u d^2 \left(\frac{L}{d} + 1.5 \right) + 9c_u d^2 \sqrt{2 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u d^3} + 4.5}$$

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

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro = 800 (mm)

Raggio = 400 (mm)

Sforzo Normale = 0 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

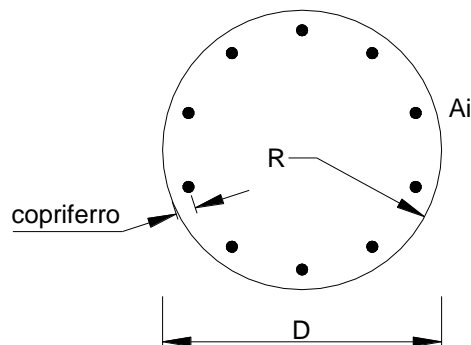
Rck = 30 (Mpa)

fck = 25 (Mpa)

γ_c = 1.5

α_{cc} = 0.85

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 14.17$ (Mpa)



Acciaio

tipo di acciaio

f_{yk} = 450 (Mpa)

γ_s = 1.15

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3$ (Mpa)

E_s = 206000 (Mpa)

ϵ_{ys} = 0.190%

ϵ_{uk} = 10.000%

Armature

numero	diametro (mm)	area (mm ²)	copriferro (mm)
25	ϕ 20	7854	82
	ϕ 0	0	80
0	ϕ 0	0	30

Calcolo

Momento di Plasticizzazione

$M_y = 835.9$ (kN m)

Inserisci

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3) PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A

DATI DI INPUT:

Lunghezza del palo	L =	20.00	(m)		
Diametro del palo	d =	0.80	(m)		
Momento di plasticizzazione della sezione	My =	835.92	(kN m)		
Coesione non drenata	C _{u med} =	60.00	(kPa)	C _{u min} =	30.00 (kPa)
Coesione non drenata di progetto	C _{u med,d} =	60.00	(kPa)	C _{u min,d} =	30.00 (kPa)
Carico Assiale Permanente (G):	G =	230.74	(kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		(kN)		

Palo corto:

$$H1_{med} = 8121.60 \text{ (kN)} \qquad H1_{min} = 4060.80 \text{ (kN)}$$

Palo intermedio:

$$H2_{med} = 3141.24 \text{ (kN)} \qquad H2_{min} = 1599.91 \text{ (kN)}$$

Palo lungo:

$$H3_{med} = 790.49 \text{ (kN)} \qquad H3_{min} = 629.29 \text{ (kN)}$$

$$H_{med} = 790.49 \text{ (kN)} \quad \text{palo lungo} \qquad H_{min} = 629.29 \text{ (kN)} \quad \text{palo lungo}$$

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 370.17 \text{ (kN)}$$

$$H_d = H_k/\gamma_T = 284.75 \text{ (kN)}$$

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 230.74 \text{ (kN)}$$

$$FS = H_d / F_d = 1.23$$

La verifica è soddisfatta.

12.4 CEDIMENTO PALI

CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA

OPERA: CHIETI-INTERPORTO D'ABRUZZO MURO di MITIGA'

DATI DI IMPUT:

Diametro del Palo (D):	0.80	(m)
Carico sul palo (P):	760.6	(kN)
Lunghezza del Palo (L):	20.00	(m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu):	20.00	(m)
Modulo di Deformazione (E):	15.00	(MPa)
Numero di pali della Palificata (n):	1	(-)
Spaziatura dei pali (s)	2.4	(m)

CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:

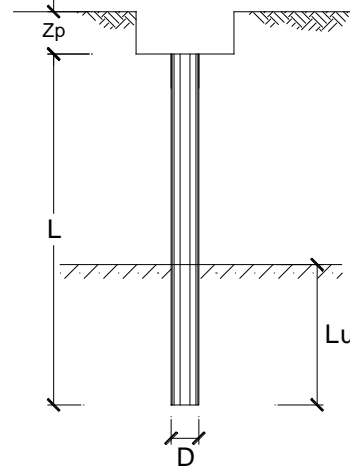
$$\delta = \beta * P / E * L_{utile}$$


Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D): \quad 1.90 \quad (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta * P / E * L_{utile} = 4.81 \text{ (mm)}$$



	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 88 di 95

12.5 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE

Il momento agente a quota testa pali è direttamente proporzionale al taglio mediante un coefficiente α (espresso in metri), dipendente dalle caratteristiche di rigidezza relative palo-terreno e dall'eventuale liquefacibilità del suolo. Generalmente, la sua applicazione fornisce un valore del momento sollecitante conservativo.

Si considera il palo immerso in un mezzo elastico lineare utilizzando la teoria della trave su suolo elastico. L'equazione differenziale della linea elastica del palo è:

$$EJ \frac{d^4y}{dx^4} + Kby = 0$$

dove

- E modulo elastico del palo;
- J momento di inerzia del palo;
- K coefficiente di sottofondo;
- B larghezza efficace del palo in genere assunta pari a 1.5 volte il diametro del palo.

La deformata del palo è una simusoide smorzata caratterizzata dal parametro denominato "lunghezza elastica":

$$L_0 = (4EJ / Kb)^{1/4}.$$

Al di sotto della lunghezza elastica le formazioni e quindi le sollecitazioni si smorzano rapidamente, risultando praticamente indipendenti dalla reale lunghezza del palo. Esse variano invece in relazione al vincolo di sommità del palo.

Nel caso in esame, il momento massimo risulta pari a:

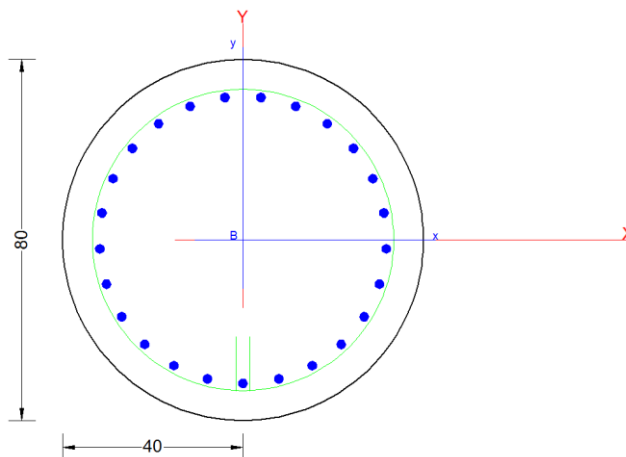
$$M_{\max} = T \alpha$$

Dove $\alpha = L_0/2$.

CALCOLO DELLA LUNGHEZZA ELASTICA DEL PALO				
Diametro del palo	D	=	0.8	m
Diametro del palo	D	=	800	mm
Modulo elastico del palo	E	=	31447	N/mm ²
Inerzia del palo	J	=	20106192983	mm ⁴
Costante di sottofondo	K	=	0.015	N/mm ³
Larghezza efficace del palo	b	=	1200	mm
Lunghezza elastica	L0	=	3422.54	mm
			3.42	m

Per il muro in esame α è pari a 1.71.

I pali saranno armati con uno strato di 25Ø20e con una spirale Ø12/10, necessari per soddisfare la verifica del carico limite orizzontale. Tale armatura costituisce la prima gabbia e si estende per 10 metri. superiore al limite normativo del 1% dell'area di calcestruzzo per uno sviluppo di almeno 10 diametri. La successiva gabbia sarà realizzata con un'armatura costituita da 12Ø20, corrispondenti ad un'area complessiva dello 0.75% dell'area di calcestruzzo, superiore al valore minimo previsto dalla normativa, pari a 0.4%.



CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa

	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	315.00	MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 \emptyset Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	\emptyset
1	0.0	0.0	31.8	25	20

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm
Passo staffe: 10.0 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	21.37	198.82	232.02	135.69	116.27
2	22.65	193.74	338.61	198.02	113.30

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 91 di 95
------------------	------------------	----------------	--------------------------	-----------	--------------------

3	22.65	394.57	144.00	84.21	230.74
4	615.52	-57.94	-184.62	-107.96	-33.88
5	615.52	-57.94	-184.62	-107.96	-33.88
6	615.52	-57.94	-184.62	-107.96	-33.88

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	383.78	139.32	12.59
2	384.16	135.98	141.90
3	383.78	139.32	12.59
4	386.08	139.32	12.59
5	384.16	135.98	-141.90
6	383.78	72.98	12.59

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	6.0 cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm ²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	21.37	198.82	232.02	21.36	392.08	457.55	1.97	78.5(15.1)
2	S	22.65	193.74	338.61	22.58	298.37	521.49	1.54	78.5(15.1)
3	S	22.65	394.57	144.00	22.70	565.91	206.53	1.43	78.5(15.1)
4	S	615.52	-57.94	-184.62	615.42	-215.65	-687.17	3.72	78.5(15.1)
5	S	615.52	-57.94	-184.62	615.42	-215.65	-687.17	3.72	78.5(15.1)
6	S	615.52	-57.94	-184.62	615.42	-215.65	-687.17	3.72	78.5(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Xs min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA **IA6F** LOTTO **03 D 29** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **RI 0005 004** REV. **A** FOGLIO **92 di 95**

Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00121	30.4	39.8	0.00085	24.5	20.3	-0.00196	-21.8	-23.2
2	0.00121	34.7	27.7	0.00084	28.8	13.5	-0.00196	-26.8	-17.0
3	0.00121	13.7	39.8	0.00085	11.7	29.6	-0.00196	-7.9	-30.8
4	0.00152	-38.2	39.8	0.00112	-30.2	-9.8	-0.00196	31.2	6.0
5	0.00152	-38.2	27.7	0.00112	-30.2	-9.8	-0.00196	31.2	6.0
6	0.00152	-38.2	39.4	0.00112	-30.2	-9.8	-0.00196	31.2	6.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000033625	0.000028814	-0.000556589	----	----
2	0.000038307	0.000021917	-0.000554521	----	----
3	0.000015173	0.000041577	-0.000555906	----	----
4	-0.000046366	-0.000014551	-0.000421477	----	----
5	-0.000046366	-0.000014551	-0.000421477	----	----
6	-0.000046366	-0.000014551	-0.000421477	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 12 mm
Passo staffe: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	176.58	912.63	1150.82	60.4 51.9	71.9	2.500	1.003	3.5	22.7(0.0)
2	S	196.68	912.76	1149.76	60.4 51.9	71.9	2.500	1.003	3.9	22.7(0.0)
3	S	158.21	912.73	1150.29	60.4 51.8	71.9	2.500	1.003	3.1	22.7(0.0)
4	S	64.65	963.87	1112.86	60.0 50.1	72.5	2.500	1.086	1.3	22.7(0.0)
5	S	64.65	963.87	1112.86	60.0 50.1	72.5	2.500	1.086	1.3	22.7(0.0)
6	S	64.65	963.87	1112.86	60.0 50.1	72.5	2.500	1.086	1.3	22.7(0.0)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.49	3.6	0.0	-40.3	0.0	-31.8	524	12.6
2	S	4.95	28.9	0.0	-74.6	-21.8	-23.2	630	15.7
3	S	3.49	3.6	0.0	-40.3	0.0	-31.8	524	12.6
4	S	3.49	3.6	0.0	-40.1	0.0	-31.8	523	12.6
5	S	4.95	-28.9	0.0	-74.6	21.8	-23.2	630	15.7
6	S	1.87	6.8	0.0	-7.1	-7.9	-30.8	204	3.1

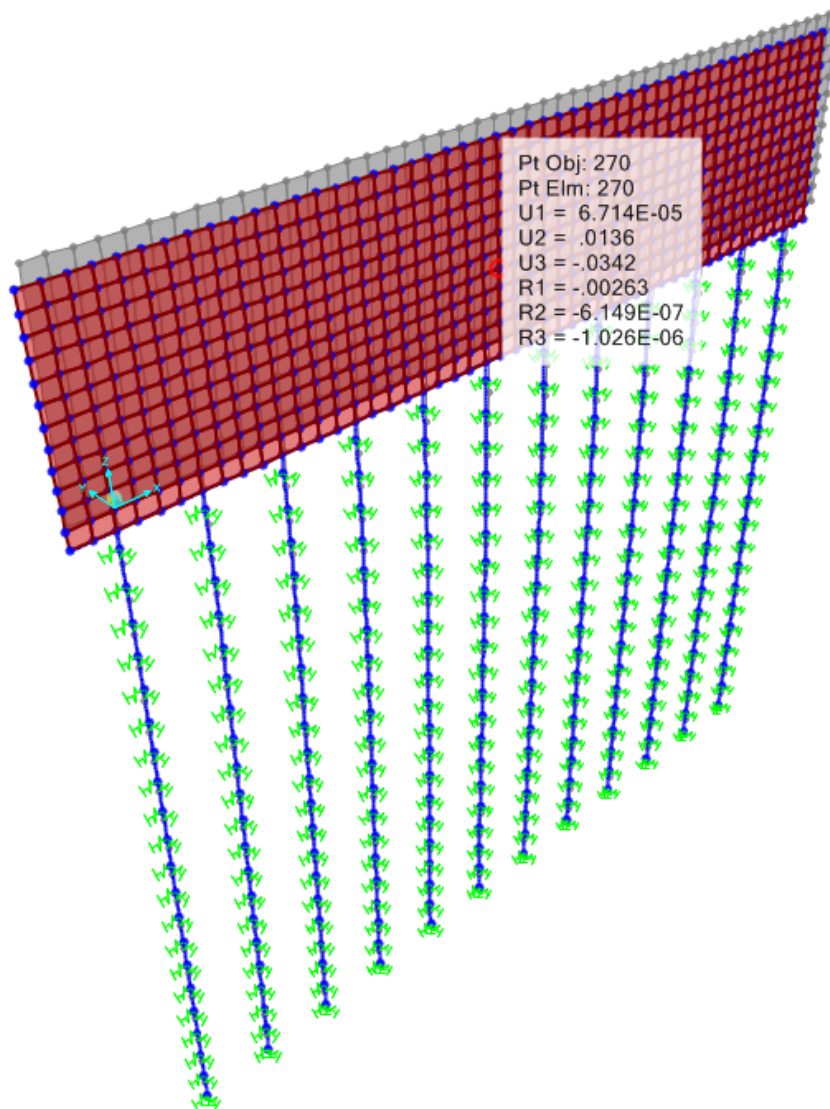
COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]


Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00026	0	0.500	20.0	72	0.00012 (0.00012)	386	0.047 (0.20)	233.36	21.09
2	S	-0.00046	0	0.500	20.0	72	0.00022 (0.00022)	381	0.085 (0.20)	145.21	151.54
3	S	-0.00026	0	0.500	20.0	72	0.00012 (0.00012)	386	0.047 (0.20)	233.36	21.09
4	S	-0.00025	0	0.500	20.0	72	0.00012 (0.00012)	386	0.046 (0.20)	233.92	21.14
5	S	-0.00046	0	0.500	20.0	72	0.00022 (0.00022)	381	0.085 (0.20)	145.21	-151.54
6	S	-0.00006	0	0.500	20.0	72	0.00002 (0.00002)	466	0.010 (0.20)	360.64	62.22

13 CONTROLLO DEGLI SPOSTAMENTI

Dal modello FEM realizzato si ricava lo spostamento massimo atteso nel punto di controllo allo SLD.



$$d = 0.0136 \text{ m} < 0.02 \text{ m} \text{ Verificato}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA CHIETI - INTERPORTO D'ABRUZZO - (LOTTO 3)					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA IA6F	LOTTO 03 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO RI 0005 004	REV. A	FOGLIO 95 di 95

14 ARMATURE E INCIDENZE

Elemento	Armatura		
	Lato terra	Lato scavo	Spilli
ELEVAZIONE	5Ø20	5Ø20	9Ø12/mq
CORDOLO	12Ø20 + 14Ø20		Ø12/10cm

Elemento	Area [mc]	Lato	Armatura longitudinale	Armatura di ripartizione	Spilli	Sommano [kg]	Incidenza di progetto [kg/m ³]
			Peso [kg]				
ELEVAZIONE	4.56	Terra	76.45	27.53	90.04	297.99	85
		Scavo	76.45	27.53			
CORDOLO	1.20		64.12	17.40	17.32	98.84	110

Elemento	Diametro [m]	Armatura verticale				Armatura a taglio			Incidenza di calcolo [kg]	Incidenza di progetto [kg/m ³]
		Gabbia	Diametro [mm]	N°	L [m]	Diametro [mm]	Passo [m]	Peso [kg]		
Pali	0.8	Gabbia 1	20	25	10	12	0.10	1234.42	123	160
		Gabbia 2	20	12	10	12	0.20			