

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

OPERE CIVILI

MU75 – Opera di Protezione pile CVF al pk 9+450,46

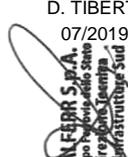
Relazione di calcolo – Opera di Protezione Pila 4

SCALA:

-

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

I A 5 F 0 1 D 7 8 C L M U 7 5 B 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	P.MANNI	07/2019	N.MANCUSO <i>Nicol Mancuso</i>	07/2019	F.GERNONE <i>Filippo Gernone</i>	07/2019	D. TIBERTI 07/2019  ITALFERR S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato Direzione Quantum UO Infrastrutture Sud Dott. Ing. Danilo Tiberti Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10076

File: IA5F01D78CLMU75B0001A

n. Elab.:

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Relazione di calcolo – Opera di Protezione Pila 4	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO MU75B0 001	REV. A	FOGLIO 2 DI 44

INDICE

1. GENERALITÀ.....	3
1.1. Premessa.....	3
1.2. Normativa di riferimento	4
1.3. Caratteristiche dei materiali	5
2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	6
3. ANALISI DEI CARICHI	8
3.1. Peso proprio della struttura.....	8
3.2. Azione termica.....	8
3.3. Carichi da urto ferroviario	8
3.4. Azione sismica	9
4. COMBINAZIONI DI CARICO	11
5. MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	12
5.1. Codice di calcolo.....	12
5.2. Descrizione del modello di calcolo	12
5.3. Affidabilità dei codici di calcolo	13
5.4. Modalità di presentazione dei risultati.....	13
5.5. Informazioni generali sull'elaborazione.....	13
5.6. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	13
6. VERIFICHE	14
6.1. Verifica dei micropali.....	14
6.2. Verifica del muro sp. 120cm.....	25
6.3. Verifica del muro sp. 160cm.....	32
6.4. Verifica della trave h 160cm.....	43

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Relazione di calcolo – Opera di Protezione Pila 4	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL MU75B0 001	DOCUMENTO 	REV. A	FOGLIO 3 DI 44

1. GENERALITÀ

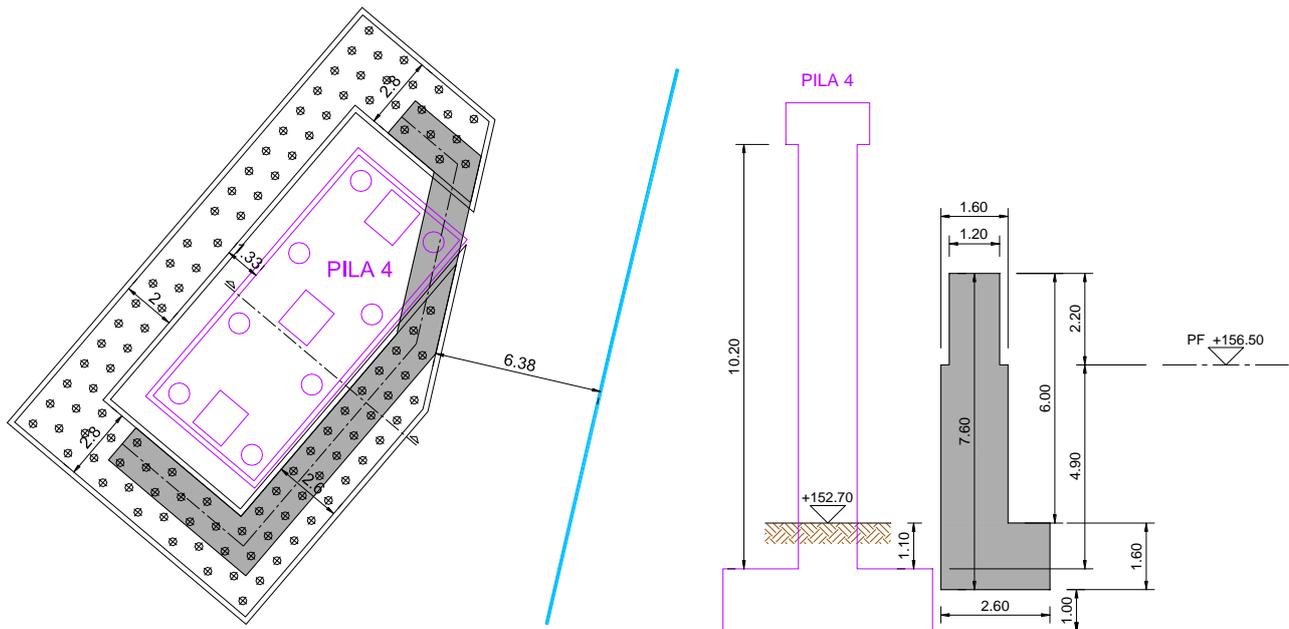
Obiettivo della realizzazione della linea Ferrandina – Matera La Martella è il collegamento della città di Matera alla rete ferroviaria nazionale, in particolare con Salerno, per l'accesso al sistema AV/AC, e con Taranto, attraverso la linea Battipaglia-Potenza-Metaponto-Taranto.

Il piano di interventi prevede l'adeguamento sismico della stazione di La Martella e l'adeguamento funzionale del Layout della stazione ai requisiti richiesti dalle normative attuali compresi quelli di interoperabilità, come meglio descritto negli elaborati di progetto architettonico.

1.1. Premessa

Oggetto della presente relazione è la valutazione della sicurezza dell'opera di protezione della Pila 4 del cavalcavia ferroviario esistente al km 9+450,46 nei confronti dell'urto da traffico ferroviario.

La suddetta opera consta di un paramento murario di spessore 1.60m nella parte inferiore e 1.20m nella parte superiore di altezza complessiva pari a 6.00m. Il muro spicca da una trave di altezza 1.60m e larghezza variabile (min 2.00m, max 2.80m) sulla quale si intestano micropali $\varnothing=300\text{mm}$ con tubo di armatura $\varnothing=219.1\text{mm}\times 12.5\text{mm}$; la lunghezza dei micropali è di 10m.



Trattandosi di un'opera di nuova costruzione, la stessa viene verificata anche nei confronti delle azioni sismiche.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Relazione di calcolo – Opera di Protezione Pila 4	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO MU75B0 001	REV. A	FOGLIO 4 DI 44

1.2. Normativa di riferimento

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

I calcoli e le disposizioni esecutive sono conformi alle norme attualmente in vigore e nel seguito elencate:

- [1] *DM 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*
- [2] *Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*
- [3] *Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 B - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.*
- [4] *Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 B - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 – Ponti e Strutture*
- [5] *Istruzione RFI DTC SI CS MA IFS 002 B - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 5 – Prescrizioni per marciapiedi e pensiline delle stazioni ferroviarie a servizio dei viaggiatori*
- [6] *Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione europea*
- [7] *Eurocodice 3: Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici*
- [8] *UNI EN 11104 marzo 2004 – “Calcestruzzo: specificazione. prestazione. produzione e conformità” Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1*
- [9] *UNI EN 206-1 ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione. prestazione. produzione e conformità”*
- [10] *UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1:Regole generali e regole per edifici”*
- [11] *UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni. strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”*

1.3. Caratteristiche dei materiali

- CALCESTRUZZO STRUTTURE IN ELEVAZIONE: **C32/40**

Rck 40	= classe di resistenza
$f_{ck} =$	33,2 MPa = resistenza cilindrica caratteristica a compressione
$\alpha_{cc} =$	0,85 = coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c =$	1,5 = coefficiente parziale di sicurezza
$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c =$	18,81 MPa = resistenza cilindrica di calcolo a compressione
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41,2 MPa = resistenza cilindrica media a compressione
$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{2/3}$ per classi \leq C50/60	3,10 MPa = resistenza media a trazione
$f_{ctm} = 2,12 \ln[1+f_{cm}/10]$ per classi $>$ C50/60	
$f_{ctk} = 0,7 f_{ctm} =$	2,17 MPa = resistenza caratteristica a trazione
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1,45 MPa = resistenzi di calcolo a trazione
$E_c = 22000 [(f_{ck}+8)/10]^{0,3} =$	33643 MPa = modulo elastico

- CALCESTRUZZO MICROPALI: **C25/30**

Rck 30	= classe di resistenza
$f_{ck} =$	24,9 MPa = resistenza cilindrica caratteristica a compressione
$\alpha_{cc} =$	0,85 = coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c =$	1,5 = coefficiente parziale di sicurezza
$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c =$	14,11 MPa = resistenza cilindrica di calcolo a compressione
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	32,9 MPa = resistenza cilindrica media a compressione
$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{2/3}$ per classi \leq C50/60	2,56 MPa = resistenza media a trazione
$f_{ctm} = 2,12 \ln[1+f_{cm}/10]$ per classi $>$ C50/60	
$f_{ctk} = 0,7 f_{ctm} =$	1,79 MPa = resistenza caratteristica a trazione
$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1,19 MPa = resistenzi di calcolo a trazione
$E_c = 22000 [(f_{ck}+8)/10]^{0,3} =$	31447 MPa = modulo elastico

- ACCIAIO PER ARMATURE: **B450C**

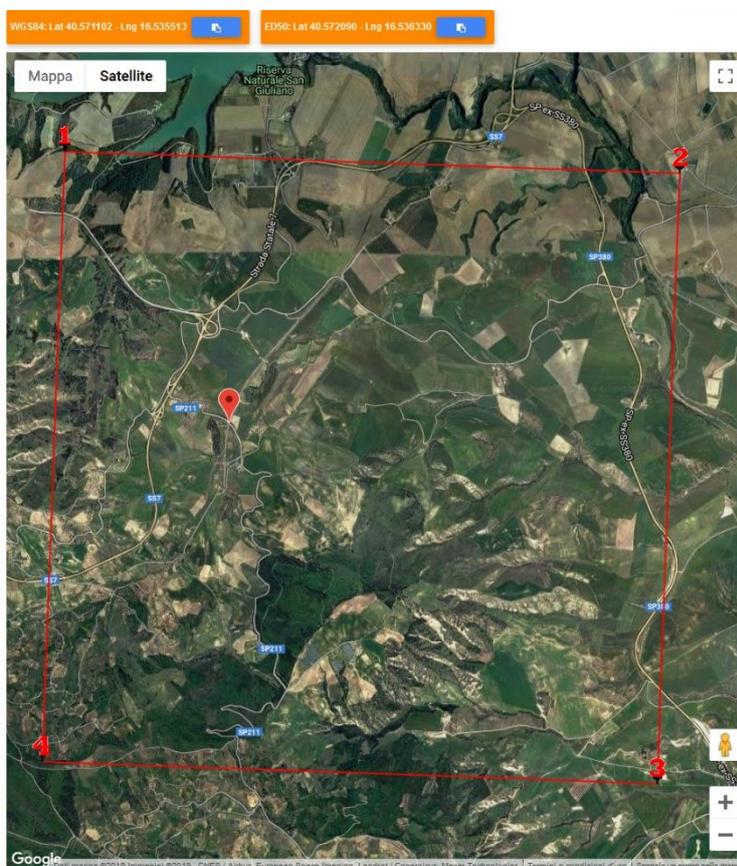
$f_{tk} \geq$	540 MPa = tensione caratteristica di rottura
$f_{yk} \geq$	450 MPa = tensione caratteristica di snervamento
$\gamma_s =$	1,15 = coefficiente parziale di sicurezza
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	391,3 MPa = resistenza di calcolo
$E_s =$	200000 MPa = modulo elastico

- ACCIAIO PER TUBI DI ARMATURA DEI MICROPALI: **S355**

Tab. 4.2.II - Laminati a caldo con profili a sezione cava

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f _{yk} [N/mm ²]	f _{tk} [N/mm ²]	f _{yk} [N/mm ²]	f _{tk} [N/mm ²]
UNI EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490

2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO



Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.040	2.456	0.289
Danno (SLD)	50	0.055	2.490	0.307
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.158	2.479	0.332
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.204	2.496	0.335
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

La categoria del suolo è la **C** (vedere elaborati IA5F-01-D-78-RH-GE0005-001-A e IA5F-01-D-78-F6-GE0005-002-A).

La categoria topografica è la **T1**.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	Relazione di calcolo – Opera di Protezione Pila 4	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO MU75B0 001	REV. A

3. ANALISI DEI CARICHI

3.1. Peso proprio della struttura

Il peso proprio dei differenti elementi strutturali viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato.

3.2. Azione termica

Si applica la variazione uniforme di temperatura $\Delta T_u = \pm 15^\circ$.

Tab. 3.5.II – Valori di ΔT_u per gli edifici

Tipo di struttura	ΔT_u
Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	$\pm 15^\circ\text{C}$
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	$\pm 10^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio esposte	$\pm 25^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio protette	$\pm 15^\circ\text{C}$

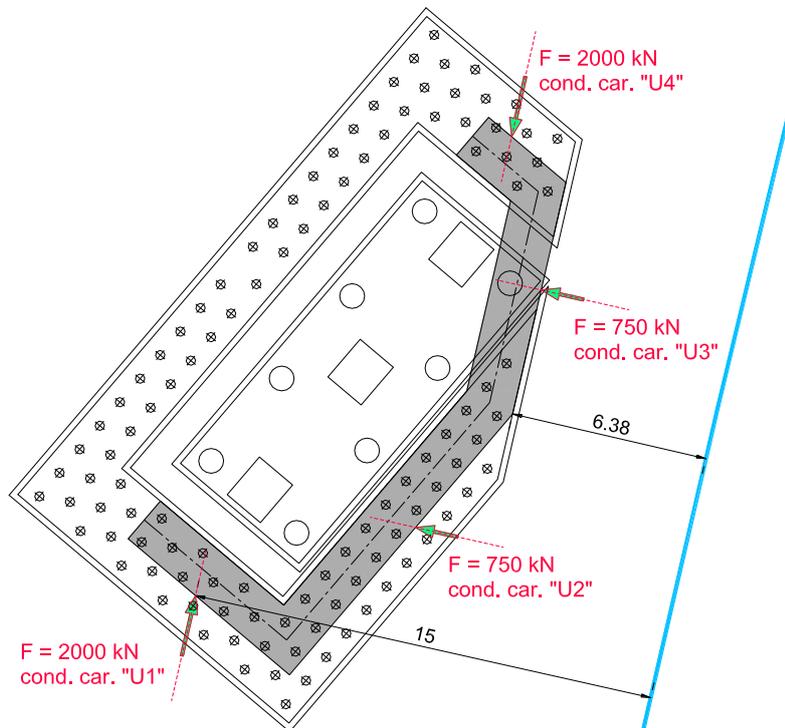
3.3. Carichi da urto ferroviario

Poiché la distanza minima dell'opera di protezione in esame dall'asse del binario è maggiore di 5 m, le azioni da urto ferroviario, ai sensi del § 3.6.3.4 delle NTC 2018, sono costituite dalle seguenti forze statiche:

- 2000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- 750 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari.

Queste forze devono essere applicate a 1.80 m dal piano del ferro e non devono essere considerate agenti simultaneamente.

Si considerano quattro possibili punti di impatto, rappresentati nella figura seguente.



3.4. Azione sismica

Per la caratterizzazione sismica del sito si faccia riferimento al relativo § 2 della presente relazione.

Il calcolo è condotto mediante analisi dinamica lineare con spettro di risposta.

Si riportano di seguito gli spettri di progetto per lo SLV.

SPETTRI DI RISPOSTA PER LO SLV

Cat. sottosuolo =	C	
Cat. topografica =	T1	
Ubicazione dell'opera:		rapporto tra la quota del sito e l'altezza del rilievo topografico
$\xi =$	5 %	smorzamento viscoso convenzionale
$V_N =$	50 anni	vita nominale
Classe d'uso =	II	
$C_u =$	1	coefficiente d'uso
$V_R =$	50 anni	periodo di riferimento
$P_{VR} =$	10 %	probabilità di superamento nel periodo di riferimento
$T_R =$	475 anni	periodo di ritorno del sisma
$a_g =$	0,158 g	accelerazione massima orizzontale su sito di riferimento rigido orizzontale

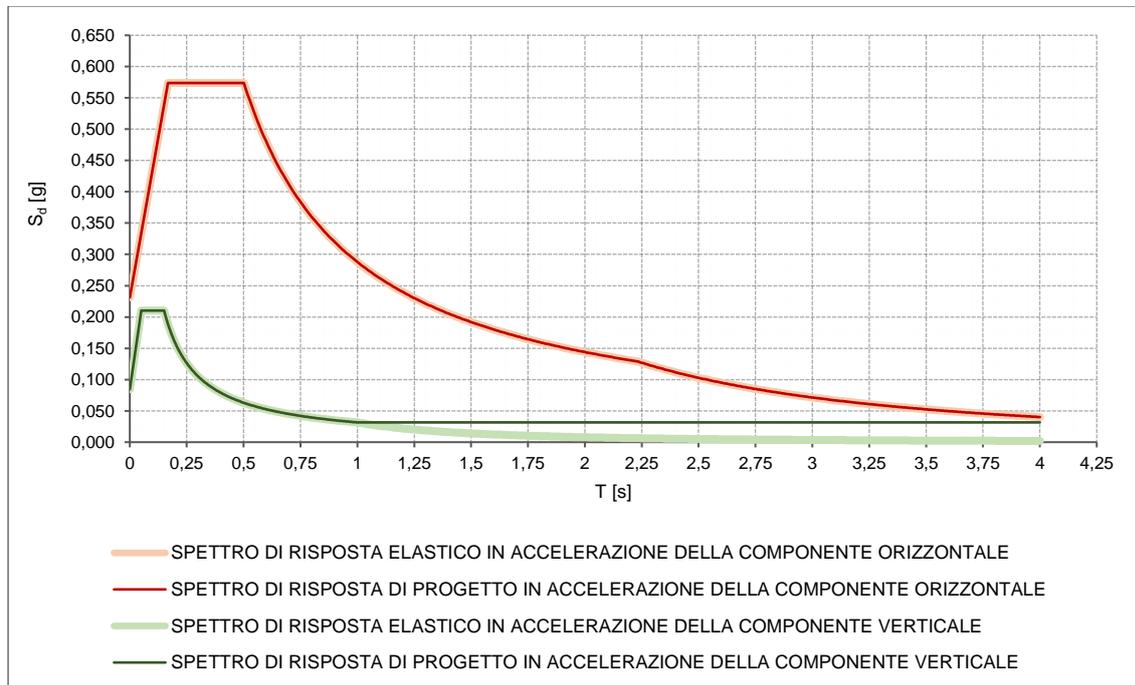
Parametri per la definizione degli spettri di risposta in accelerazione della componente orizzontale

$\eta =$	1,00	fattore di correzione per coefficienti di smorzamento $\xi \neq 5\%$
$F_0 =$	2,479	fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima
$T_C^* =$	0,332 s	
$C_C =$	1,511	

$S_S =$	1,465	coefficiente di amplificazione stratigrafica
$S_T =$	1,000	coefficiente di amplificazione topografica
$S = S_S S_T =$	1,465	
$T_B = T_C / 3 =$	0,167 s	periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante
$T_C = C_C T_C^* =$	0,502 s	periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante
$T_D = 4,0 a_g/g + 1,6 =$	2,232 s	periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante
$q =$	1,0	coefficiente di struttura

Parametri per la definizione degli spettri di risposta in accelerazione della componente verticale

$\eta =$	1,00
$F_V = 1,35 F_0 \sqrt{(a_g/g)} =$	1,330
$S_S =$	1,000
$S_T =$	1,000
$S = S_S S_T =$	1,000
$T_B =$	0,050 s
$T_C =$	0,150 s
$T_D =$	1,000 s
$q =$	1,0



	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	Relazione di calcolo – Opera di Protezione Pila 4	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO MU75B0 001	REV. A

4. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico utilizzate per l'analisi della struttura sono definite in accordo alle indicazioni del § 2.5.3 delle NTC2018:

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$ [2.5.5]

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:
 $G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$ [2.5.6]

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

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

NB Il coefficiente ψ_2 per l'azione sismica è assunto pari a 0.5, in accordo alla tab. 5.2.VI delle NTC2018.

Definizione delle condizioni di carico

- **G1**: pesi degli elementi strutturali, calcolati in automatico dal software in base alle sezioni e ai materiali assegnati agli elementi del modello di calcolo, congruenti con quelli di progetto;
- **U1**: urto da traffico ferroviario parallelo alla direzione di marcia dei convogli (F = 2000 kN);
- **U2**: urto da traffico ferroviario ortogonale alla direzione di marcia dei convogli (F = 750 kN);
- **U3**: urto da traffico ferroviario ortogonale alla direzione di marcia dei convogli (F = 750 kN);
- **U4**: urto da traffico ferroviario parallelo alla direzione di marcia dei convogli (F = 2000 kN);
- **Ex**: azione sismica in direzione $\pm X$;
- **Ey**: azione sismica in direzione $\pm Y$;
- **Ez**: azione sismica in direzione $\pm Z$;
- **Dt+**: azione termica uniforme di $+25^\circ$ applicata ai muri che spiccano dalla fondazione;
- **Dt-**: azione termica uniforme di -25° applicata ai muri che spiccano dalla fondazione.

Definizione delle combinazioni di carico

Combinazioni Eccezionali	Condizioni di carico					
	G1	U1	U2	U3	U4	Dt ⁽¹⁾
ECC-1	1	1	-	-	-	0.5
ECC-2	1	-	1	-	-	0.5
ECC-3	1	-	-	1	-	0.5
ECC-4	1	-	-	-	1	0.5

Combinazioni Sismiche	Condizioni di carico				
	G1	Ex	Ey	Ez	Dt ⁽¹⁾
ECC-1	1	1	0.3	0.3	0.5
ECC-2	1	0.3	1	0.3	0.5
ECC-3	1	0.3	0.3	1	0.5

(1) Le azioni termiche uniformi sono inserite tramite la combinazione Dt di involuppo delle condizioni di carico Dt+ e Dt-.

5. MODELLAZIONE STRUTTURALE

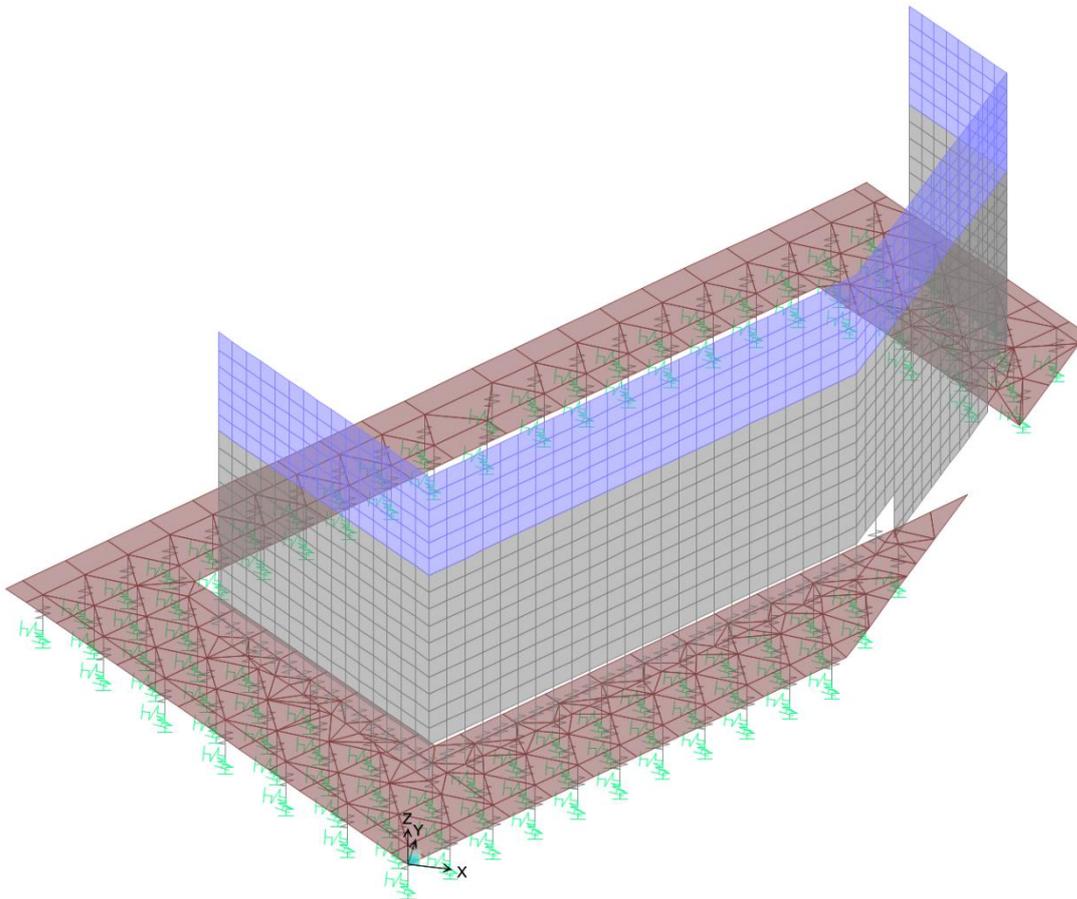
5.1. Codice di calcolo

L'analisi della struttura è stata condotta con il seguente codice di calcolo agli elementi finiti:

Titolo SAP2000
Versione 21.0.2
Distributore Computer and Structures, Inc.

5.2. Descrizione del modello di calcolo

Per l'analisi della struttura, è stato sviluppato un modello di calcolo costituito da elementi tipo "shell" (elementi piani a tre o quattro nodi) e da bracci rigidi (link) utilizzati per connettere i vari elementi (vincoli-fondazione, fondazione-muri).



Modello F.E.M. – Vista unifilare 3D

La struttura è stata vincolata tramite molle elastiche applicate in corrispondenza della testa dei micropali (intradosso fondazione).

La rigidezza delle molle verticali è stata posta pari alla rigidezza assiale dei micropali ($k_z = EA / (L/2)$), calcolata con riferimento alla sezione ideale:

$$k_z = 770000 \text{ kN/m.}$$

La rigidezza delle molle orizzontali è stata posta pari alla metà di quella delle molle verticali:

$$k_x = k_y = 385000 \text{ kN/m.}$$

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA				
Relazione di calcolo – Opera di Protezione Pila 4	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO MU75B0 001	REV. FOGLIO A 13 DI 44

5.3. Affidabilità dei codici di calcolo

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

5.4. Modalità di presentazione dei risultati

L'output di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma grafica e tabellare.

5.5. Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

5.6. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

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

	<p>Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</p> <p>NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA</p>					
<p>Relazione di calcolo – Opera di Protezione Pila 4</p>	<p>PROGETTO IA5F</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA D 78 CL</p>	<p>DOCUMENTO MU75B0 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 14 DI 44</p>

6. VERIFICHE

6.1. Verifica dei micropali

Si riportano di seguito le azioni massime (e minime per gli sforzi assiali) agenti in testa ai micropali (reazioni vincolari del modello di calcolo) e i tabulati delle verifiche geotecniche e strutturali dei micropali stessi.

L'armatura del singolo micropalo è costituita da un tubo $\varnothing 219.1 \times 12.5$ in acciaio S355, con le seguenti caratteristiche:

- area = 8113 mm²;
- area a taglio = 4066 mm²;
- momento d'inerzia = 4.34E+07 mm⁴;
- modulo di resistenza = 396584 mm³.

Per la verifica strutturale del tubo di armatura si assume:

- $\gamma_s = 1$ per le combinazioni eccezionali;
- $\gamma_s = 1.05$ per le combinazioni sismiche.

Combinazioni eccezionali

$N_{max} = 383 \text{ kN}$ (compressione)

$N_{min} = -271 \text{ kN}$ (trazione)

$V_{max} = \max [\sqrt{V_x^2 + V_y^2}] = 117 \text{ kN}$

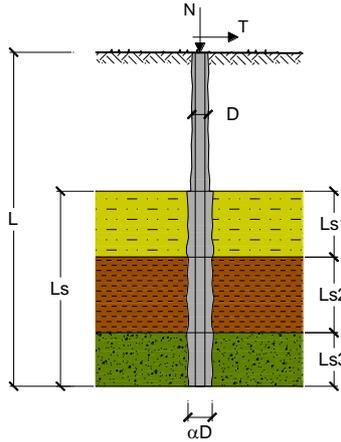
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: OPERA DI PROTEZIONE PILA 4 - ECC Nmax

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	383,00	0,00	383,00
T (kN)	117,00	0,00	117,00



coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo		permanenti γ_G	variabili γ_Q	γ_s	$\gamma_{s \text{ traz}}$
SLU	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00
	A2+M1+R2	1,00	1,30	1,45	1,60
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,15	1,25
	SISMA	1,00	1,00	1,15	1,25
DM88		1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista		1,00	1,00	1,15	1,25

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10	DM88	prog.
ξ_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

Caratteristiche del micropalo:

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

Lunghezza del micropalo (L): **10,00 (m)**

Armatura:

IPE
 INP
 HEA
 HEB
 HEM
 Tubi
 ALTRO

IPE 180 INP 160 HEA 300 HEB 160 HEM 200 $\varnothing 219,1 \times 12,0$

Area dell'armatura (Aarm): **(mm²) 8113**

Area a taglio (Ataglio): **(mm²) 4066**

Momento di inerzia della sezione di armatura (Jarm): **(mm⁴) 4,34E+07**

Modulo di resistenza della sezione di armatura (Warm): **(mm³) 396584**

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

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

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

Coefficiente Parziale Acciaio γ_M : **1**

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

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



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di
Matera con la rete ferroviaria nazionale
NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

**Relazione di calcolo – Opera di
Protezione Pila 4**

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IA5F 01 D 78 CL MU75B0 001 A 16 DI 44

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): 20,0 (MN/m³)

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto $QI = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot Is_i$

Tipo di Terreno	Spessore Is_i (m)	α (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	S_i media (MPa)	S_i minima (MPa)	S_i calcolo (MPa)	Qs_i (kN)
sabbia	4,00	1,20	0,36	0,070	0,070	0,036	161,98
sabbia	4,00	1,50	0,45	0,150	0,150	0,077	433,88
argilla limosa	2,00	1,50	0,45	0,250	0,250	0,128	361,56

$Ls = 10,00$ (m) $QI = 957,42$ (kN)

Capacità portante di punta $Qp = \%Punta \cdot QI$ (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 15\%$ $Qp = 143,61$ (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$Qlim = Qb + QI$ $Fs = Qlim / N$ ($Fs > 1$)

$Qlim = 1101,04$ (kN) $Fs = 2,87$

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$): 4,38 (Nmm²)

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

$Pk = 12645,90$ (MN) $\eta = 33,02$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

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

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

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

$b = 0,637$ (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 91,87$ (kNm)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

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

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

$\sigma_{max} = 278,86$ (N/mm²) $\sigma_{min} = -184,45$ (N/mm²)

$\tau = 28,78$ (N/mm²)

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

$\sigma_{id} = 283,28$ (N/mm²) verifica soddisfatta

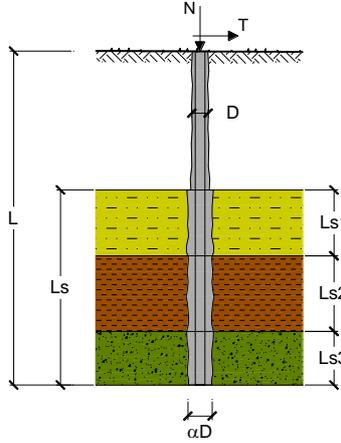
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: OPERA DI PROTEZIONE PILA 4 - ECC Nmin

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	-271,00	0,00	-271,00
T (kN)	117,00	0,00	117,00



coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γ_s	$\gamma_{s \text{ traz}}$
		γ_G	γ_Q		
SU	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00
	A2+M1+R2	1,00	1,30	1,45	1,60
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,15	1,25
	SISMA	1,00	1,00	1,15	1,25
DM88		1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista		1,00	1,00	1,15	1,25

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

Caratteristiche del micropalo:

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

Lunghezza del micropalo (L): **10,00 (m)**

Armatura:

IPE
 INP
 HEA
 HEB
 HEM
 Tubi
 ALTRO

IPE 180 INP 160 HEA 300 HEB 160 HEM 200 $\varnothing 219,1 \times 12,0$

Area dell'armatura (A_{arm}): **(mm²) 8113**

Area a taglio (A_{taglio}): **(mm²) 4066**

Momento di inerzia della sezione di armatura (J_{arm}): **(mm⁴) 4,34E+07**

Modulo di resistenza della sezione di armatura (W_{arm}): **(mm³) 396584**

Dimensione Armatura (D_{arm}): **(mm) 219,1**

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

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

Coefficiente Parziale Acciaio γ_M : **1**

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

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



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di
Matera con la rete ferroviaria nazionale
NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

**Relazione di calcolo – Opera di
Protezione Pila 4**

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IA5F 01 D 78 CL MU75B0 001 A 18 DI 44

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): 20,0 (MN/m³)

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto $QI = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot Is_i$

Tipo di Terreno	Spessore Is_i (m)	α (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	S_i media (MPa)	S_i minima (MPa)	S_i calcolo (MPa)	Qs_i (kN)
sabbia	4,00	1,20	0,36	0,070	0,070	0,033	149,02
sabbia	4,00	1,50	0,45	0,150	0,150	0,071	399,17
argilla limosa	2,00	1,50	0,45	0,250	0,250	0,118	332,64

$Ls = 10,00$ (m) $QI = 880,83$ (kN)

Capacità portante di punta $Qp = \%Punta \cdot QI$ (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 15\%$ $Qp = 0,00$ (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$Qlim = Qb + QI$ $Fs = Qlim / N$ ($Fs > 1$)

$Qlim = 880,83$ (kN) $Fs = 3,25$

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$): 4,38 (N/mm²)

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

$Pk = 12645,90$ (MN) $\eta = --$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

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

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

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

$b = 0,637$ (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 91,87$ (kNm)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

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

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

$\sigma_{max} = 198,25$ (N/mm²) $\sigma_{min} = -265,06$ (N/mm²)

$\tau = 28,78$ (N/mm²)

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

$\sigma_{id} = 269,70$ (N/mm²) verifica soddisfatta

Combinazioni sismiche

$N_{max} = 452 \text{ kN}$ (compressione)

$N_{min} = -190 \text{ kN}$ (trazione)

$V_{max} = \max [\sqrt{V_x^2 + V_y^2}] = 136 \text{ kN}$

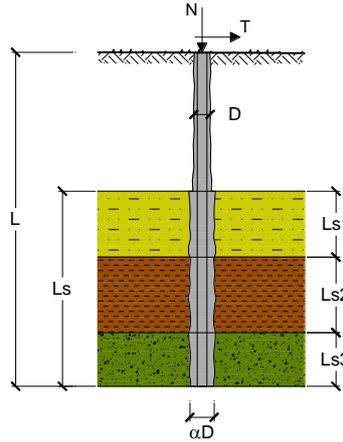
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: OPERA DI PROTEZIONE PILA 4 - SLV Nmax

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	452,00	0,00	452,00
T (kN)	136,00	0,00	136,00



coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo		permanenti γ_G	variabili γ_Q	γ_s	$\gamma_{s \text{ traz}}$
SLU	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00
	A2+M1+R2	1,00	1,30	1,45	1,60
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,15	1,25
	SISMA	1,00	1,00	1,15	1,25
DM88		1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista		1,00	1,00	1,15	1,25

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10	DM88	prog.
ξ_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

Caratteristiche del micropalo:

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

Lunghezza del micropalo (L): **10,00 (m)**

Armatura:

IPE
 INP
 HEA
 HEB
 HEM
 Tubi
 ALTRO

IPE 180 INP 160 HEA 300 HEB 160 HEM 200 $\varnothing 219,1 \times 12,0$

Area dell'armatura (Aarm): **(mm²) 8113**

Area a taglio (Ataglio): **(mm²) 4066**

Momento di inerzia della sezione di armatura (Jarm): **(mm⁴) 4,34E+07**

Modulo di resistenza della sezione di armatura (Warm): **(mm³) 396584**

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

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

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

Coefficiente Parziale Acciaio γ_M : **1,05**

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{im}): **338 (N/mm²)**

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

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): 20,0 (MN/m³)

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto $QI = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot Is_i$

Tipo di Terreno	Spessore Is_i (m)	α (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	S_i media (MPa)	S_i minima (MPa)	S_i calcolo (MPa)	Qs_i (kN)
sabbia	4,00	1,20	0,36	0,070	0,070	0,036	161,98
sabbia	4,00	1,50	0,45	0,150	0,150	0,077	433,88
argilla limosa	2,00	1,50	0,45	0,250	0,250	0,128	361,56

$Ls = 10,00$ (m) $QI = 957,42$ (kN)

Capacità portante di punta $Qp = \%Punta \cdot QI$ (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 15\%$ $Qp = 143,61$ (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$Qlim = Qb + QI$ $Fs = Qlim / N$ ($Fs > 1$)

$Qlim = 1101,04$ (kN) $Fs = 2,44$

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$): 4,38 (Nmm²)

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

$Pk = 12645,90$ (MN) $\eta = 27,98$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

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

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

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

$b = 0,637$ (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 106,79$ (kNm)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

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

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

$\sigma_{max} = 324,99$ (N/mm²) $\sigma_{min} = -213,56$ (N/mm²)

$\tau = 33,45$ (N/mm²)

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

$\sigma_{id} = 330,11$ (N/mm²) verifica soddisfatta

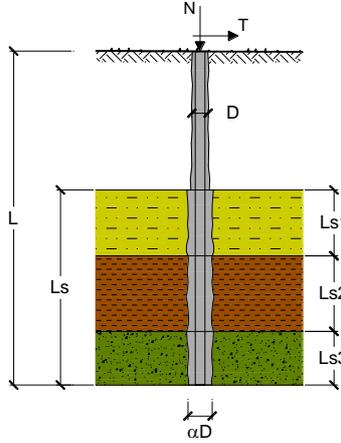
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: OPERA DI PROTEZIONE PILA 4 - SLV Nmin

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	-190,00	0,00	-190,00
T (kN)	136,00	0,00	136,00



coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γ_s	$\gamma_{s\text{traz}}$
		γ_G	γ_Q		
SLU	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00
	A2+M1+R2	1,00	1,30	1,45	1,60
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,15	1,25
	SISMA	1,00	1,00	1,15	1,25
DM88		1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista		1,00	1,00	1,15	1,25

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

Caratteristiche del micropalo:

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

Lunghezza del micropalo (L): **10,00 (m)**

Armatura:

IPE
 INP
 HEA
 HEB
 HEM
 Tubi
 ALTRO

IPE 180 INP 160 HEA 300 HEB 160 HEM 200 $\varnothing 219,1 \times 12,0$

Area dell'armatura (A_{arm}): **(mm²) 8113**

Area a taglio (A_{taglio}): **(mm²) 4066**

Momento di inerzia della sezione di armatura (J_{arm}): **(mm⁴) 4,34E+07**

Modulo di resistenza della sezione di armatura (W_{arm}): **(mm³) 396584**

Dimensione Armatura (D_{arm}): **(mm) 219,1**

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

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

Coefficiente Parziale Acciaio γ_M : **1,05**

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{adm}): **338 (N/mm²)**

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



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di
Matera con la rete ferroviaria nazionale
NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

**Relazione di calcolo – Opera di
Protezione Pila 4**

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IA5F 01 D 78 CL MU75B0 001 A 22 DI 44

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): 20,0 (MN/m³)

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto $QI = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot Is_i$

Tipo di Terreno	Spessore Is_i (m)	α (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	S_i media (MPa)	S_i minima (MPa)	S_i calcolo (MPa)	Qs_i (kN)
sabbia	4,00	1,20	0,36	0,070	0,070	0,033	149,02
sabbia	4,00	1,50	0,45	0,150	0,150	0,071	399,17
argilla limosa	2,00	1,50	0,45	0,250	0,250	0,118	332,64

$Ls = 10,00$ (m) $QI = 880,83$ (kN)

Capacità portante di punta $Qp = \%Punta \cdot QI$ (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 15\%$ $Qp = 0,00$ (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$Qlim = Qb + QI$ $Fs = Qlim / N$ ($Fs > 1$)

$Qlim = 880,83$ (kN) $Fs = 4,64$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$): 4,38 (Nmm²)

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

$Pk = 12645,90$ (MN) $\eta = --$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

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

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

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

$b = 0,637$ (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 106,79$ (kNm)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

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

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

$\sigma_{max} = 245,85$ (N/mm²) $\sigma_{min} = -292,69$ (N/mm²)

$\tau = 33,45$ (N/mm²)

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

$\sigma_{id} = 298,37$ (N/mm²) verifica soddisfatta

Verifica a carico limite orizzontale

Per la verifica a carico limite orizzontale non si considera il valore massimo degli sforzi di taglio, poiché in questo modo non si terrebbe conto della redistribuzione delle sollecitazioni a seguito della plasticizzazione del terreno; si considera quindi il valore medio cautelativamente amplificato del 30%:

$$V_{Ed} = V_{med} \cdot 1.3$$

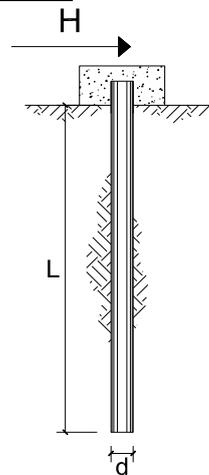
- Combinazioni eccezionali: $V_{Ed} = 48 \cdot 1.3 = 62.4$ kN
- Combinazioni sismiche: $V_{Ed} = 55 \cdot 1.3 = 71.5$ kN

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

OPERA: Opera di protezione Pila 4

TEORIA DI BASE:

(Broms, 1964)



coefficienti parziali			A		M	R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_ϕ	γ_r
			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	1,00	1,00	1,30

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

Palo corto:
$$H = 1.5 k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio:
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo:
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}}$$

DATI DI INPUT:

Lunghezza del palo	L =	10,00	(m)			
Diametro del palo	d =	0,30	(m)			
Momento di plasticizzazione della sezione	M_y =	193,04	(kN m)			
Angolo di attrito del terreno	ϕ'_{med} =	30,00	(°)	ϕ'_{min} =	30,00	(°)
Angolo di attrito di calcolo del terreno	$\phi'_{med,d}$ =	30,00	(°)	$\phi'_{min,d}$ =	30,00	(°)
Coeff. di spinta passiva ($k_p = (1 + \sin\phi)/(1 - \sin\phi)$)	$k_{p,med}$ =	3,00	(-)	$k_{p,min}$ =	3,00	(-)
Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$)	γ =	9,00	(kN/m ³)			
Carico Assiale Permanente (G):	G =	71,5	(kN)			
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0	(kN)			

**Relazione di calcolo – Opera di
Protezione Pila 4**

PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO MU75B0 001	REV. A	FOGLIO 24 DI 44
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

Palo corto:

$$H1_{med} = 1215,00 \quad (\text{kN}) \qquad H1_{min} = 1215,00 \quad (\text{kN})$$

Palo intermedio:

$$H2_{med} = 424,30 \quad (\text{kN}) \qquad H2_{min} = 424,30 \quad (\text{kN})$$

Palo lungo:

$$H3_{med} = 159,78 \quad (\text{kN}) \qquad H3_{min} = 159,78 \quad (\text{kN})$$

$$H_{med} = 159,78 \quad (\text{kN}) \quad \text{palo lungo} \qquad H_{min} = 159,78 \quad (\text{kN}) \quad \text{palo lungo}$$

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 93,99 \quad (\text{kN})$$

$$H_d = H_k / \gamma_T = 72,30 \quad (\text{kN})$$

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 71,50 \quad (\text{kN})$$

$$FS = H_d / F_d = 1,01$$

Calcolo del momento di plasticizzazione di un micropalo

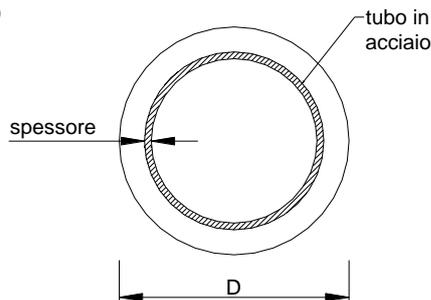
Diametro = 300 (mm)

Tubo

Diametro esterno = 219,1 (mm)

Spessore = 12,5 (mm)

Sforzo Normale = 0 (kN)



Caratteristiche dei Materiali

malta

Rck = 30 (Mpa)

fck = 25 (Mpa)

γ_C = 1,5

α_{cc} = 0,85

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_C = 14,17 \quad (\text{Mpa})$

Acciaio

tipo di acciaio

f_{yk} = 355 (Mpa)

γ_m = 1,05

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m / \gamma_{E,d} = 338,1 \quad (\text{Mpa})$

Es = 210000 (Mpa)

ϵ_{ys} = 0,161%

ϵ_{uk} = 1,000%

Calcolo

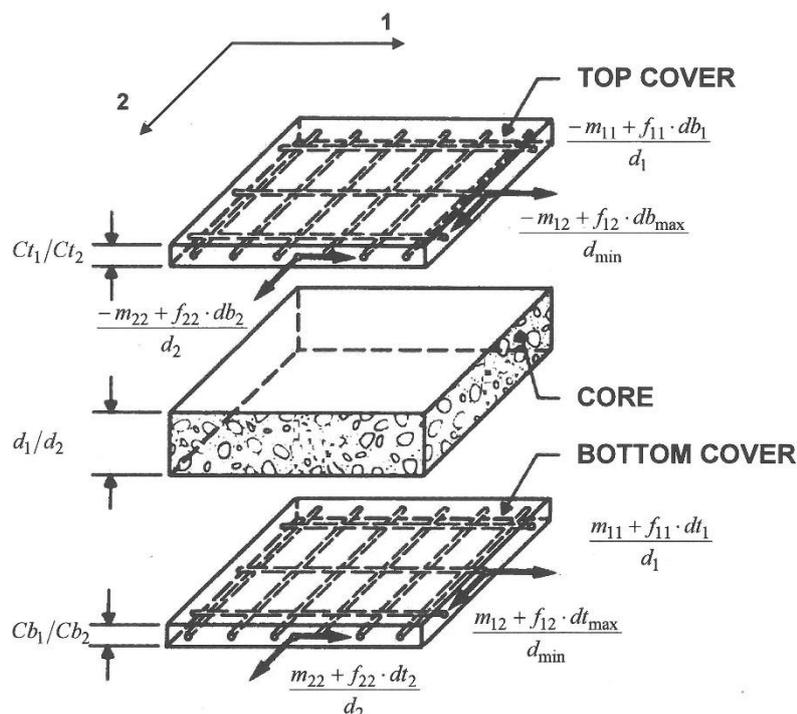
Momento di Plasticizzazione

My = 193,0 (kN m)

Inserisci

6.2. Verifica del muro sp. 120cm

Le densità di armatura sulle facce interna (lato pila protetta) ed esterna del muro vengono determinate attraverso il modulo implementato nel software usato per l'analisi della struttura (SAP2000), che fa riferimento a un modello di calcolo tipo "sandwich":



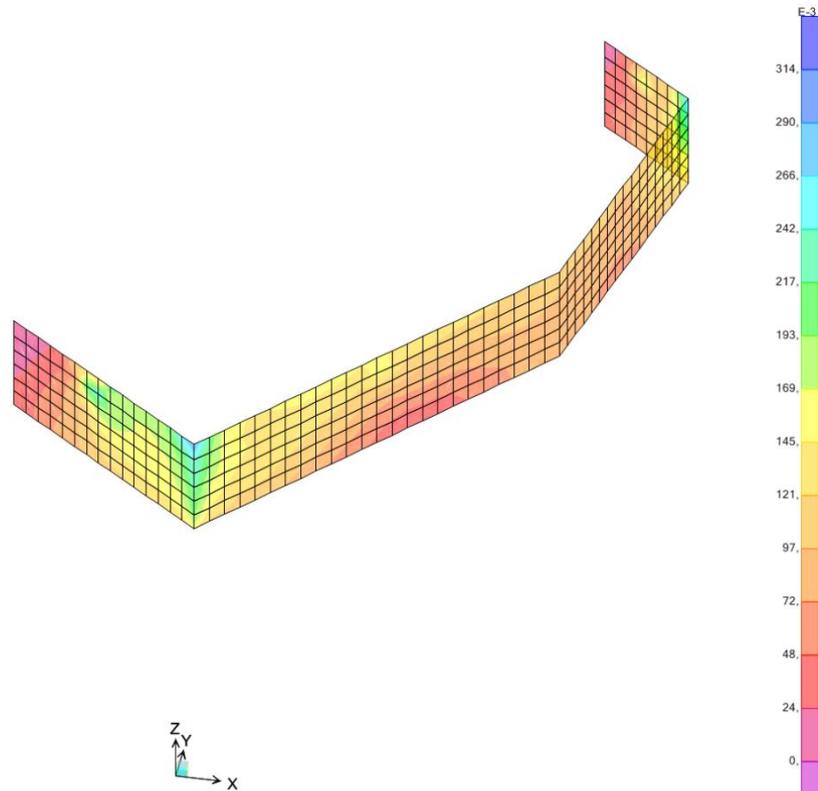
Tale modello di calcolo, peraltro, trova riscontro in UNI EN 1992-2, Annex LL.

Ai fini della determinazione delle armature, si assume, in via cautelativa, $\gamma_s = 1.15$ sia per le verifiche nei confronti delle azioni sismiche che per le verifiche nei confronti delle azioni eccezionali.

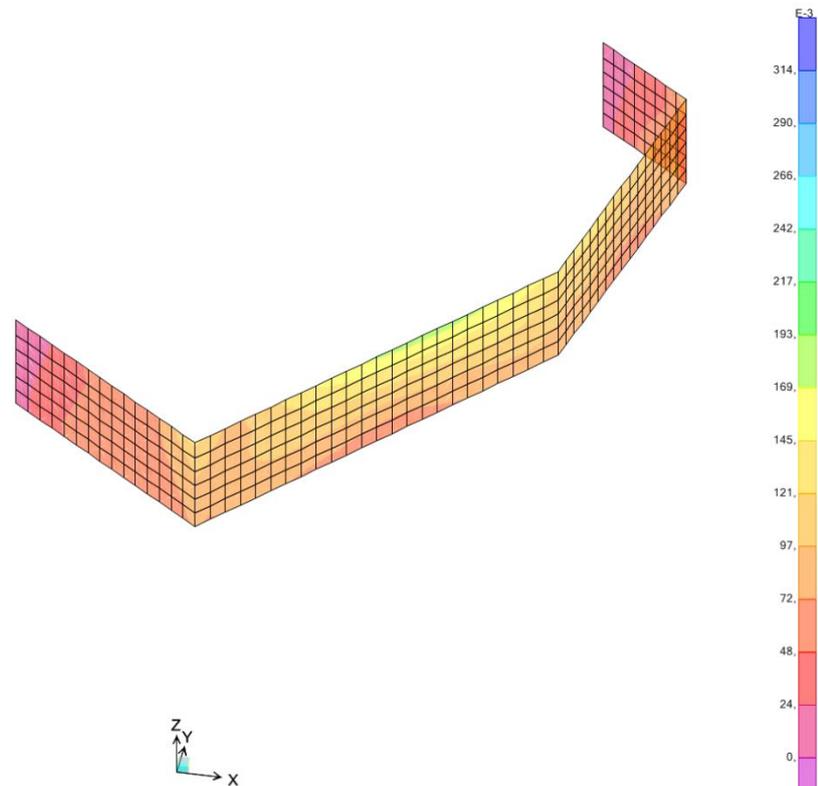
Nel prosieguo del presente paragrafo, le direzioni 1 e 2 sono da intendersi coincidenti, rispettivamente, con le direzioni orizzontale e verticale.

Si prevede di disporre barre $\text{Ø}20/10$ sia in direzione 1 che in direzione 2 su entrambe le facce:

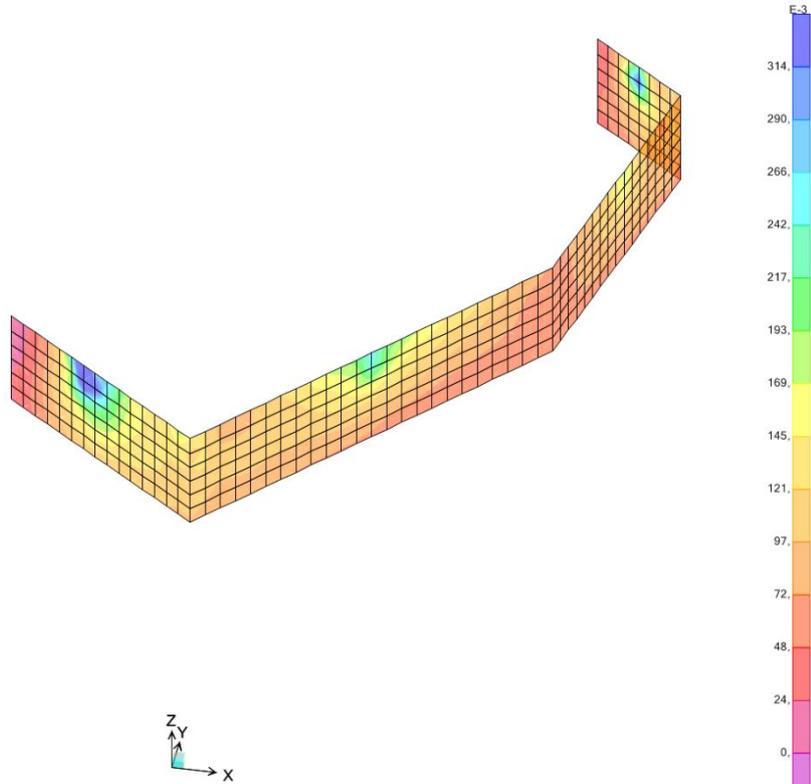
$$Ast1 = Ast2 = 31.4 \text{ cm}^2/\text{m} = 0.314 \text{ cm}^2/\text{cm}$$



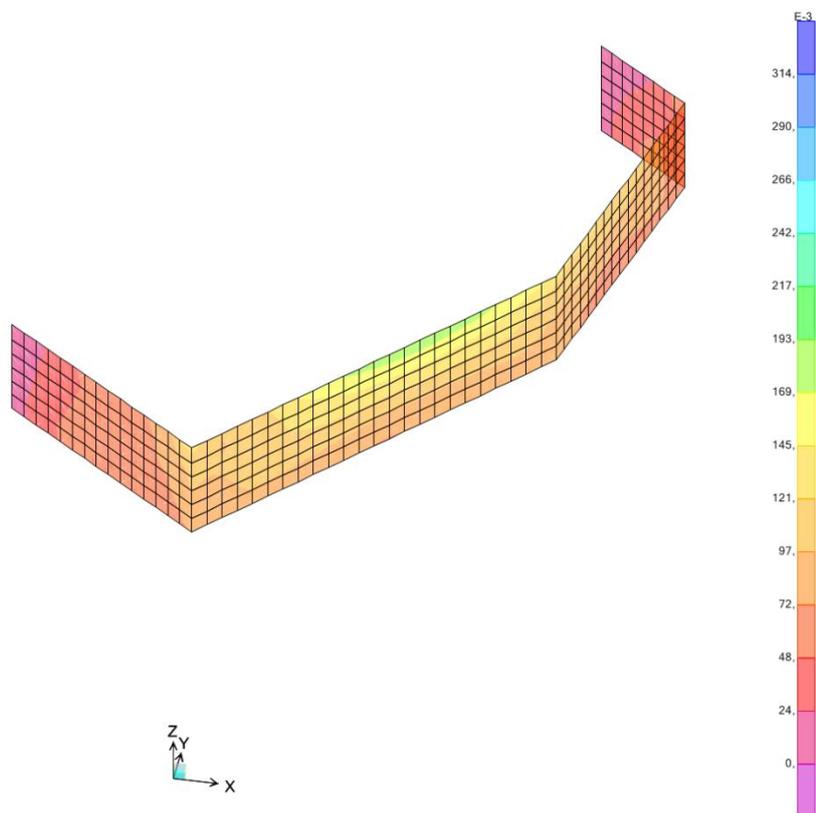
Inviluppo combinazioni ECC – Densità armatura dir. 1 sulla faccia esterna (u.m. cm²/cm)



Inviluppo combinazioni SLV – Densità armatura dir. 1 sulla faccia esterna (u.m. cm²/cm)

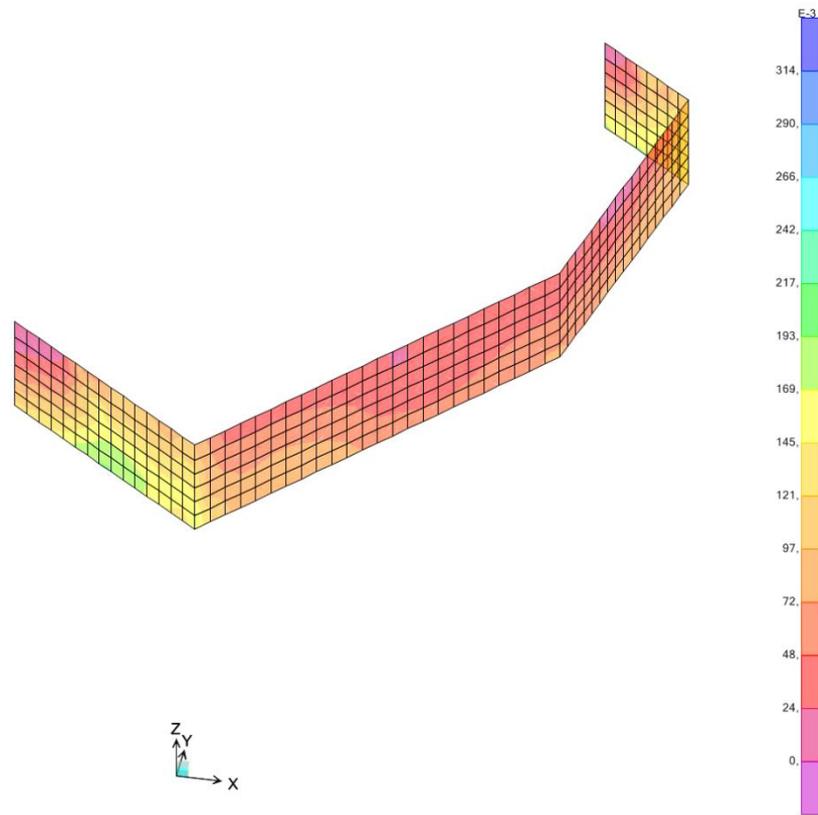


Inviluppo combinazioni ECC – Densità armatura dir. 1 sulla faccia interna (u.m. cm²/cm)

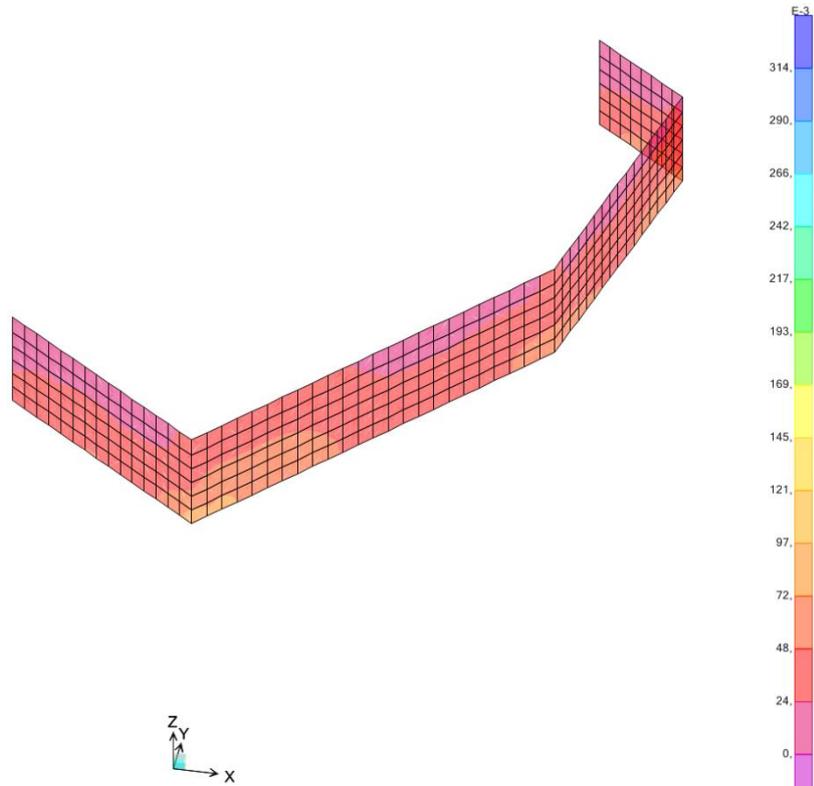


	<p>Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</p> <p>NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA</p>					
<p>Relazione di calcolo – Opera di Protezione Pila 4</p>	<p>PROGETTO IA5F</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA D 78 CL</p>	<p>DOCUMENTO MU75B0 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 28 DI 44</p>

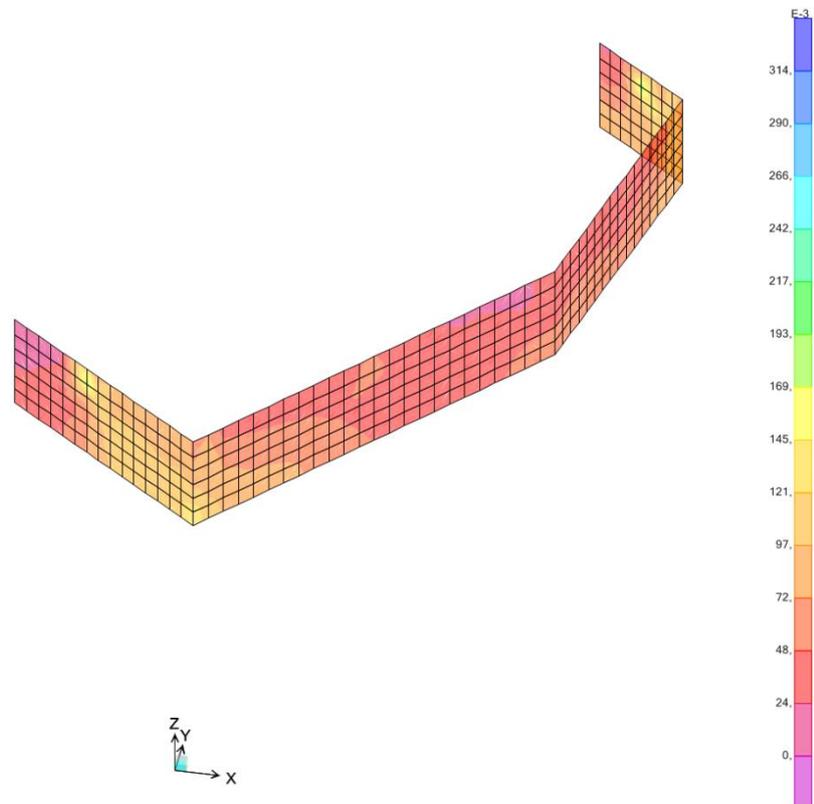
Inviluppo combinazioni SLV – Densità armatura dir. 1 sulla faccia interna (u.m. cm²/cm)



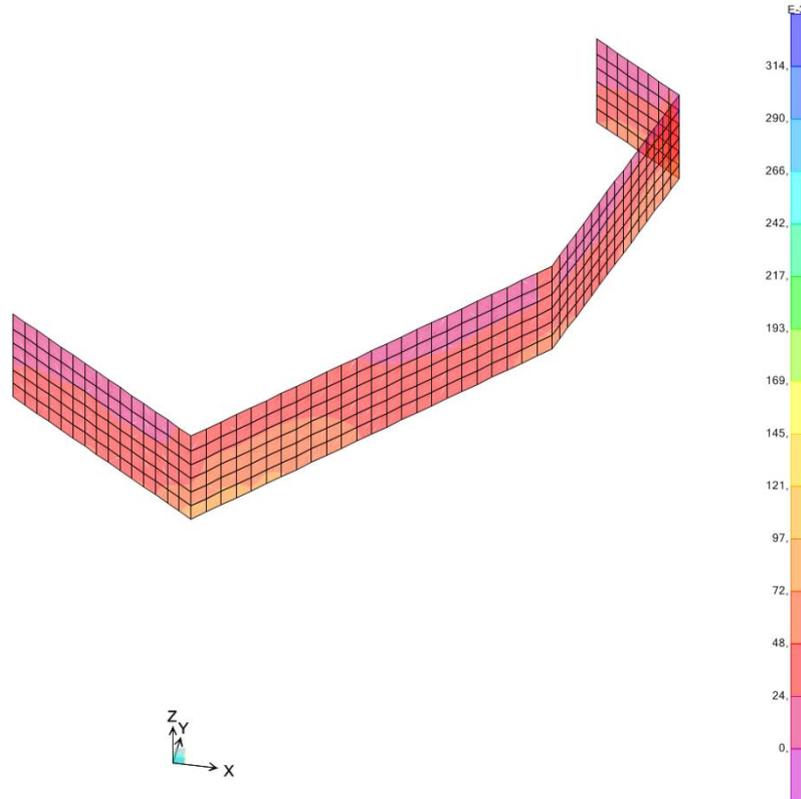
Inviluppo combinazioni ECC – Densità armatura dir. 2 sulla faccia esterna (u.m. cm²/cm)



Inviluppo combinazioni SLV – Densità armatura dir. 2 sulla faccia esterna (u.m. cm²/cm)



Inviluppo combinazioni ECC – Densità armatura dir. 2 sulla faccia interna (u.m. cm²/cm)

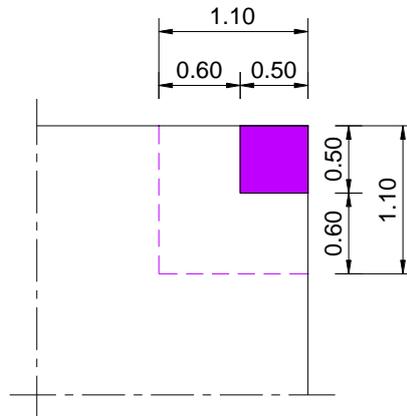


Inviluppo combinazioni SLV – Densità armatura dir. 2 sulla faccia interna (u.m. cm²/cm)

Le armature previste sono sufficienti.

Verifica a taglio

Si ipotizza che l'urto avvenga in corrispondenza di uno spigolo su un'impronta di dimensioni 50cmx50cm. Per calcolare lo sforzo di taglio per unità di lunghezza, agente sia nel piano orizzontale che in quello verticale, si considera la diffusione del carico a 45° fino al piano medio del muro:



Si ha pertanto:

$$V_{Ed} = 2000 / (1.10 \cdot 2) = 909 \text{ kN}$$

Materiali

CLS

Classe =

Rck 40

**Relazione di calcolo – Opera di
Protezione Pila 4**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D 78 CL	MU75B0 001	A	31 DI 44

$$f_{ck} = 33,2 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{cc} = 0,85$$

$$\gamma_c = 1$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 28,22 \text{ MPa}$$

$$f'_{cd} = 0,5 f_{cd} = 14,11 \text{ MPa}$$

ARMATURE

$$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450,0 \text{ MPa}$$

Sollecitazioni

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 909 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 0 \text{ kNm}$$

Taglio

$$B = b_w = 1000 \text{ mm} \quad \kappa = \min [1 + \sqrt{(200 / d)}; 2] = 1,4264$$

$$H = 1200 \text{ mm} \quad \rho_t = \min [A_{st} / (b_w d); 0,02] = 0,0029$$

$$d = 1100 \text{ mm} \quad A_c = B H = 1200000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 3140 \text{ mm}^2 \quad \sigma_{cp} = \min [N_{Ed} / A_c; 0,2 f_{cd}] = 0,0000 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 90^\circ \quad v_{\min} = 0,035 \kappa^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0,3436 \text{ MPa}$$

$$\text{ctg } \theta = 1,5 \quad \alpha_c = 1,0000$$

$$\text{ctg } \alpha = 0,0000$$

Resistenza senza armature trasversali

$$V_{Rd} = \max \{ [0,18 \kappa (100 \rho_t f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \sigma_{cp}] b_w d; (v_{\min} + 0,15 \sigma_{cp}) b_w d \} = 598 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} < V_{Ed} \rightarrow \text{Sono richieste armature a taglio}$$

Resistenza con armature trasversali

$$A_{sw} / s \geq V_{Ed} / [0,9 d f_{yd} (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \sin \alpha] = 1360 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$V_{Rcd} = 0,9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta) = 6447 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} > V_{Ed} \rightarrow \text{Verifica del cls d'anima soddisfatta}$$

Verifica del tirante

$$N_{Ed} = V_{Ed} \text{ctg}(\theta) = 1364 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = f_{yd} A_{st} = 1413 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{Rd} = 0,96 < 1 \text{ Verifica soddisfatta}$$

Deve quindi prevedersi un'armatura trasversale non inferiore a:

$$A_{sw,\min} = 13,60 \cdot 2 = 27,20 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

Si disporranno spille **Ø12/20x20**:

$$A_{sw} = 1,13 \cdot (100 / 20)^2 = 28,25 \text{ cm}^2/\text{m}^2 > A_{sw,\min}$$

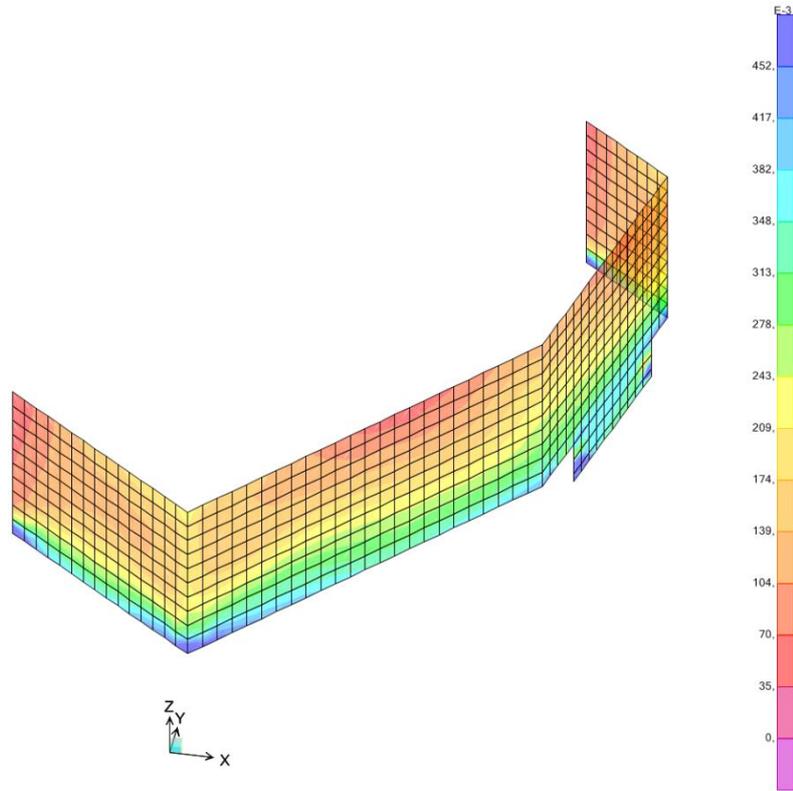
	<p>Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</p> <p>NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA</p>					
<p>Relazione di calcolo – Opera di Protezione Pila 4</p>	<p>PROGETTO IA5F</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA D 78 CL</p>	<p>DOCUMENTO MU75B0 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 32 DI 44</p>

6.3. Verifica del muro sp. 160cm

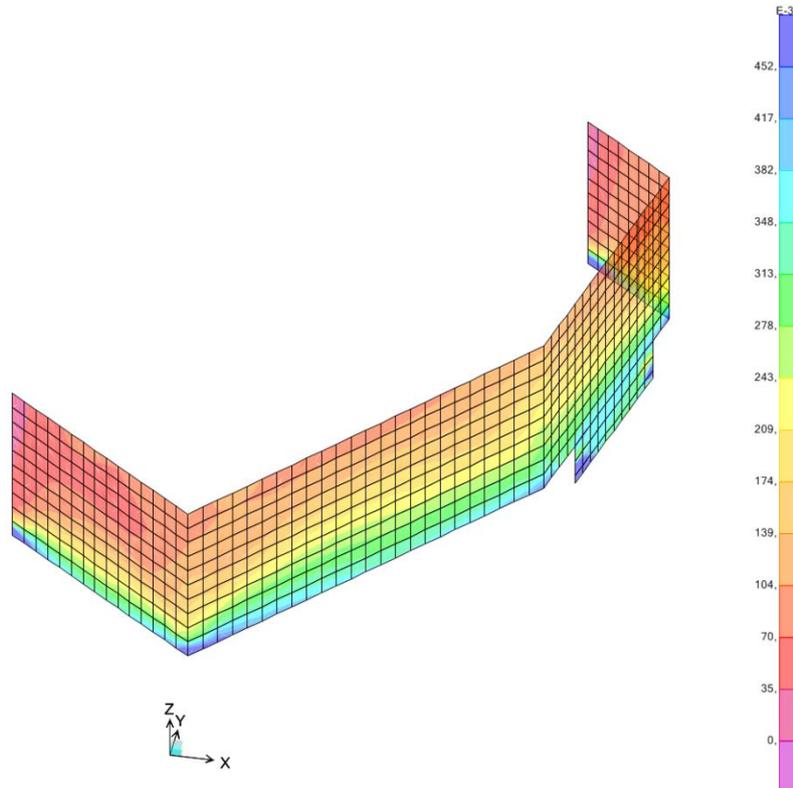
Per determinare le densità di armatura sulle facce interna (lato pila protetta) ed esterna del muro si segue lo stesso criterio adottato per il muro sp. 120 cm.

Si prevede di disporre barre **Ø24/10** sia in direzione 1 che in direzione 2 su entrambe le facce:

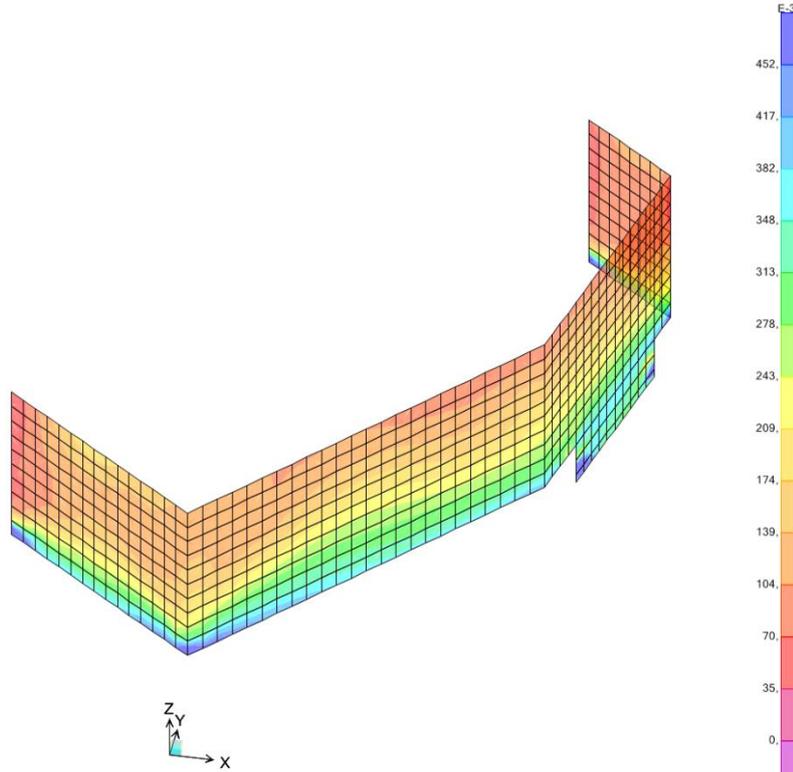
$$Ast1 = Ast2 = 45.2 \text{ cm}^2/\text{m} = 0.452 \text{ cm}^2/\text{cm}$$



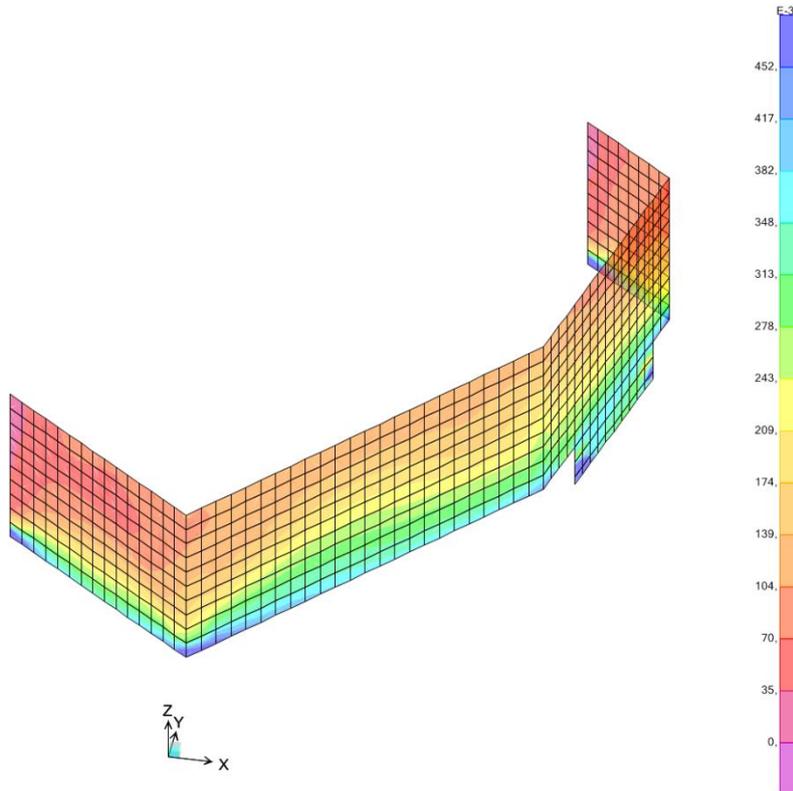
Inviluppo combinazioni ECC – Densità armatura dir. 1 sulla faccia esterna (u.m. cm²/cm)



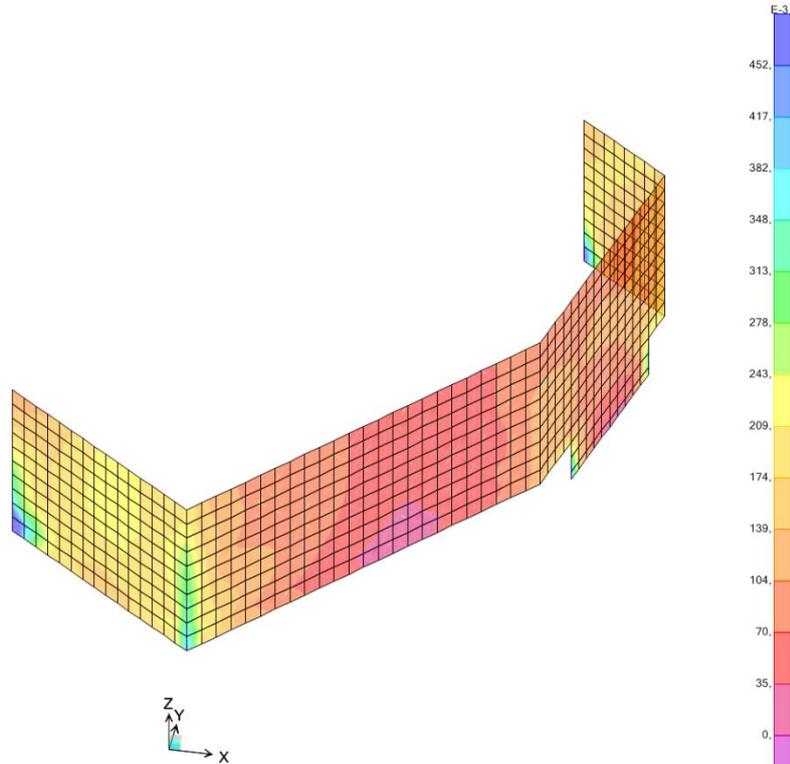
Inviluppo combinazioni SLV – Densità armatura dir. 1 sulla faccia esterna (u.m. cm²/cm)



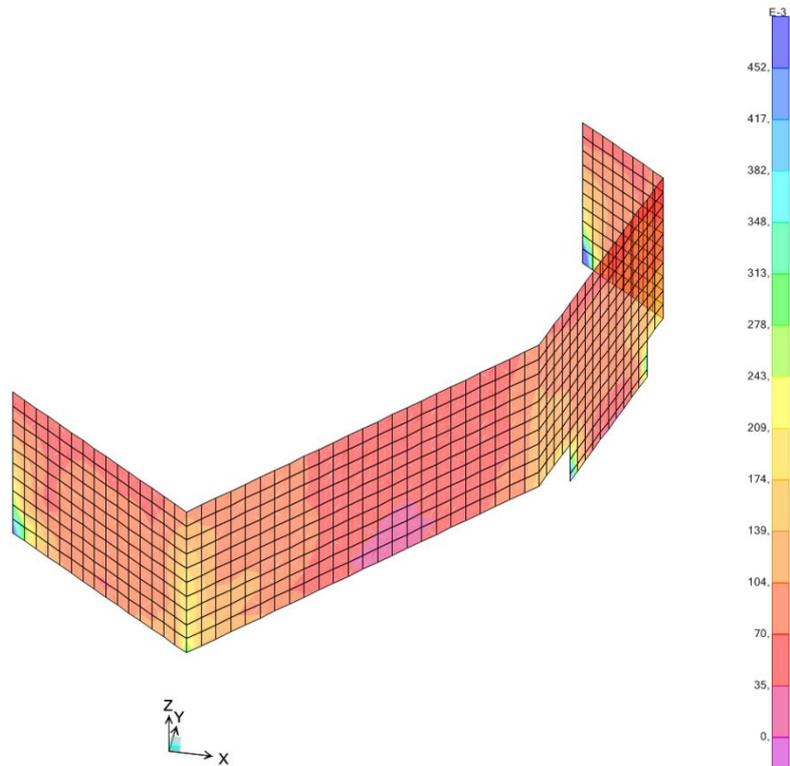
Inviluppo combinazioni ECC – Densità armatura dir. 1 sulla faccia interna (u.m. cm²/cm)



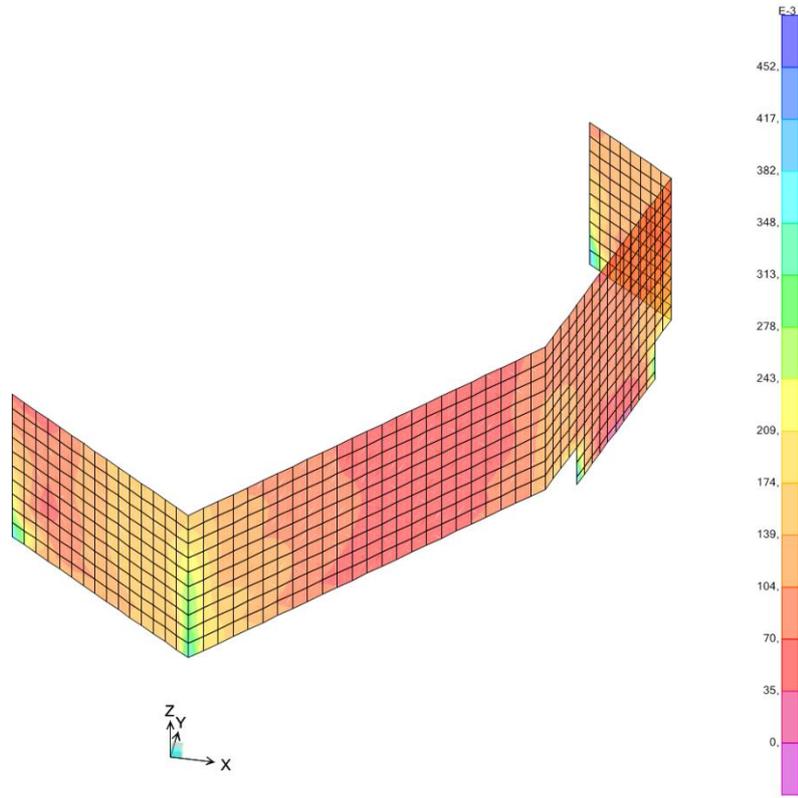
Inviluppo combinazioni SLV – Densità armatura dir. 1 sulla faccia interna (u.m. cm²/cm)



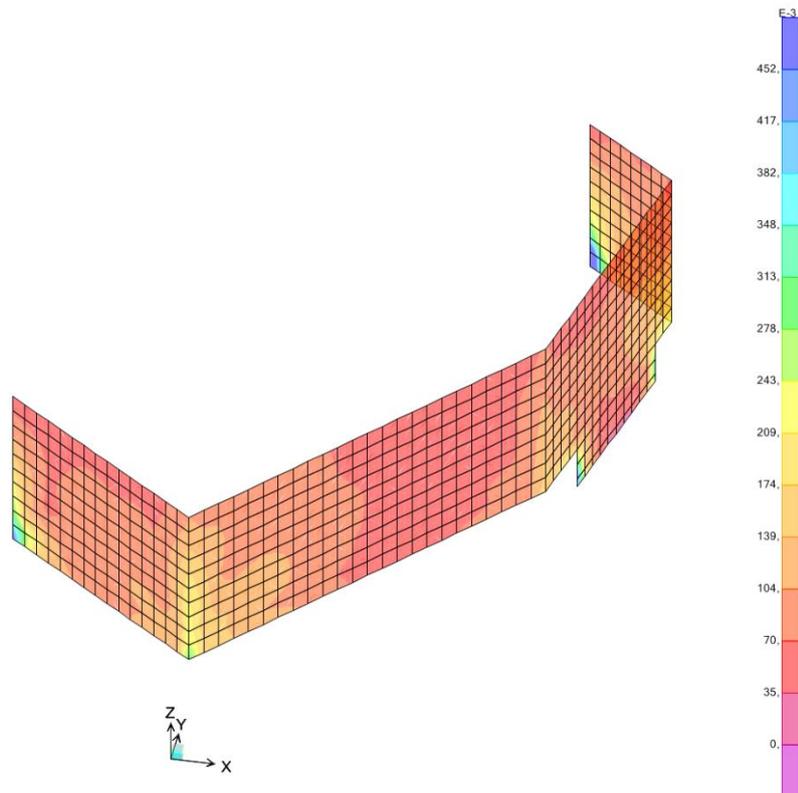
Inviluppo combinazioni ECC – Densità armatura dir. 2 sulla faccia esterna (u.m. cm²/cm)



Inviluppo combinazioni SLV – Densità armatura dir. 2 sulla faccia esterna (u.m. cm²/cm)



Inviluppo combinazioni ECC – Densità armatura dir. 2 sulla faccia interna (u.m. cm²/cm)



Inviluppo combinazioni SLV – Densità armatura dir. 2 sulla faccia interna (u.m. cm²/cm)

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale				
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA				
Relazione di calcolo – Opera di Protezione Pila 4	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 CL MU75B0 001	DOCUMENTO REV. A	FOGLIO 37 DI 44

Le armature previste sono sufficienti.

Verifica a taglio

Si determina la resistenza del muro senza armature trasversali.

Materiali

CLS

Classe = **Rck 40**

$f_{ck} = 33,2$ MPa

$\alpha_{cc} = 0,85$

$\gamma_c = 1,5$

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 18,81$ MPa

$f'_{cd} = 0,5 f_{cd} = 9,41$ MPa

ARMATURE

$f_{yk} = 450$ MPa

$\gamma_s = 1,15$

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391,3$ MPa

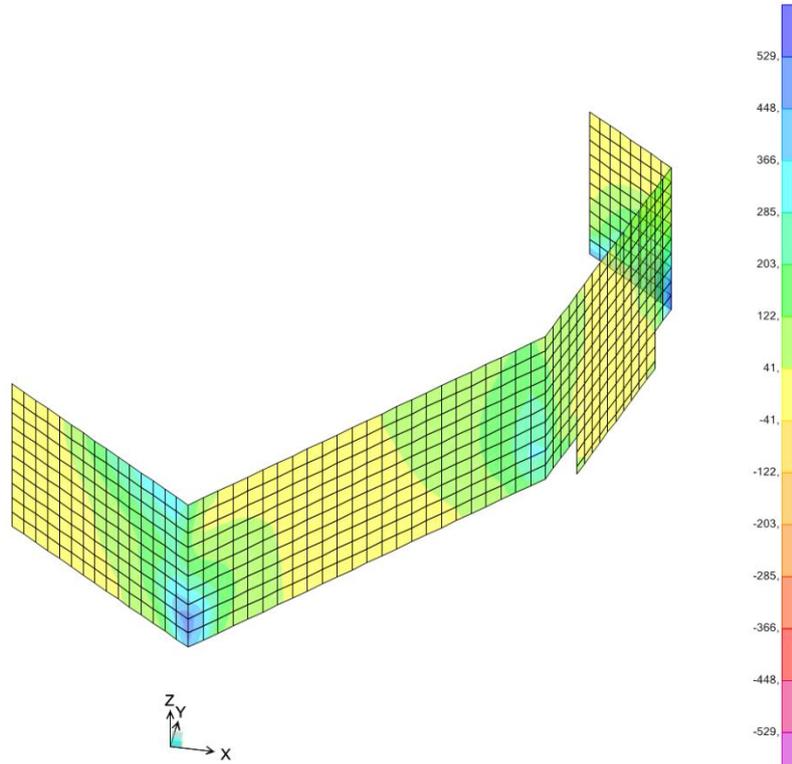
Taglio

$B = b_w =$	1000 mm	$\kappa = \min [1 + \sqrt{(200 / d)}; 2] =$	1,3651
$H =$	1600 mm	$\rho_t = \min [A_{st} / (b_w d); 0,02] =$	0,0030
$d =$	1500 mm	$A_c = B H =$	1600000 mm ²
$A_{st} =$	4520 mm ²	$\sigma_{cp} = \min [N_{Ed} / A_c; 0,2 f_{cd}] =$	0,0000 MPa
$\alpha =$	90 °	$v_{min} = 0,035 \kappa^{3/2} f_{ck}^{1/2} =$	0,3217 MPa
$ctg \theta =$	1,5	$\alpha_c =$	1,0000
		$ctg \alpha =$	0,0000

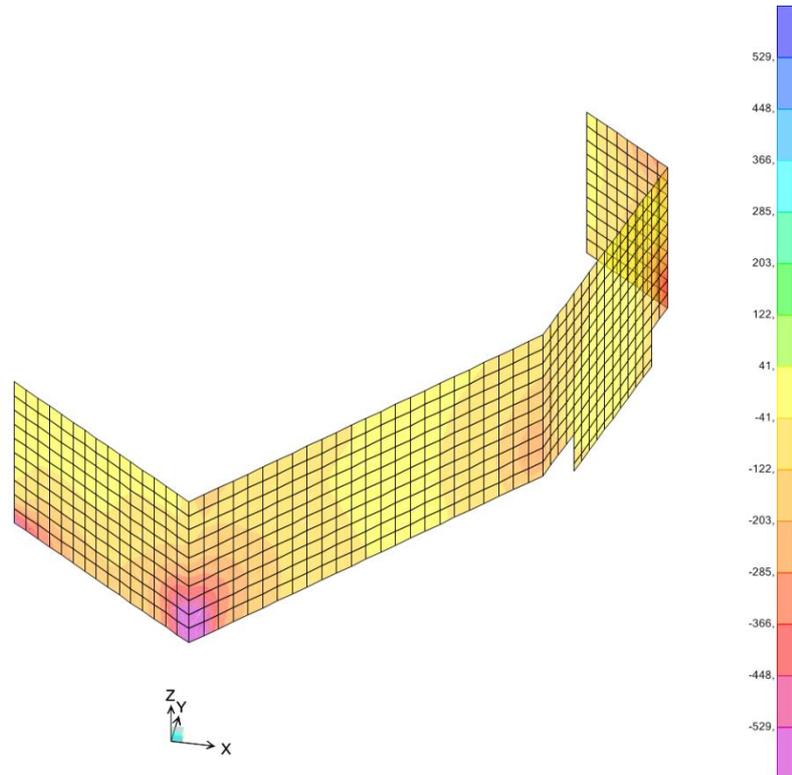
Resistenza senza armature trasversali

$$V_{Rd} = \max \{ [0,18 \kappa (100 \rho_t f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \sigma_{cp}] b_w d; (v_{min} + 0,15 \sigma_{cp}) b_w d \} = \mathbf{529} \text{ kN}$$

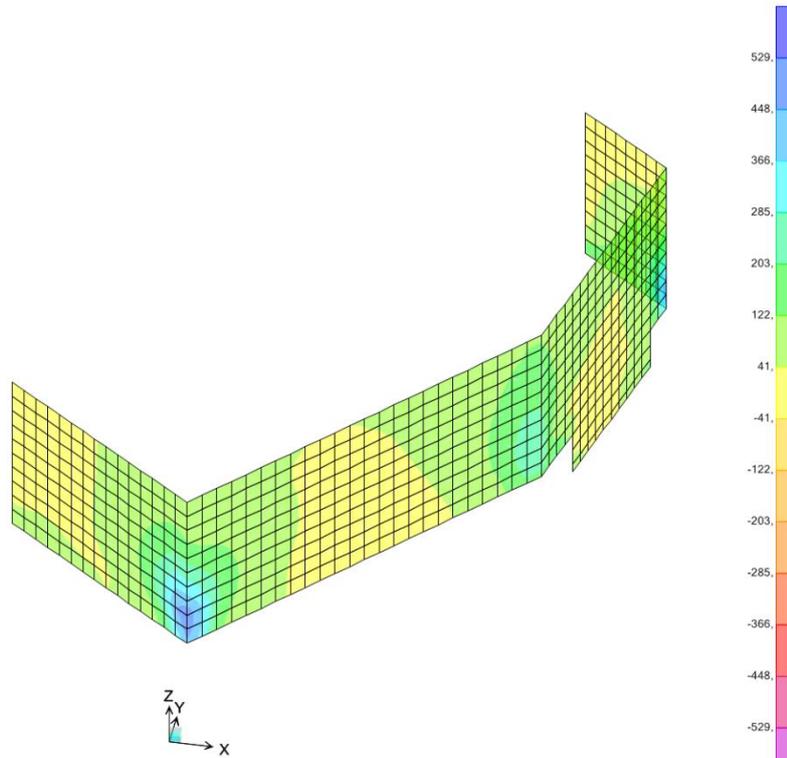
Si riportano di seguito le mappature degli sforzi di taglio agenti nel piano verticale (V13) e nel piano orizzontale (V23).



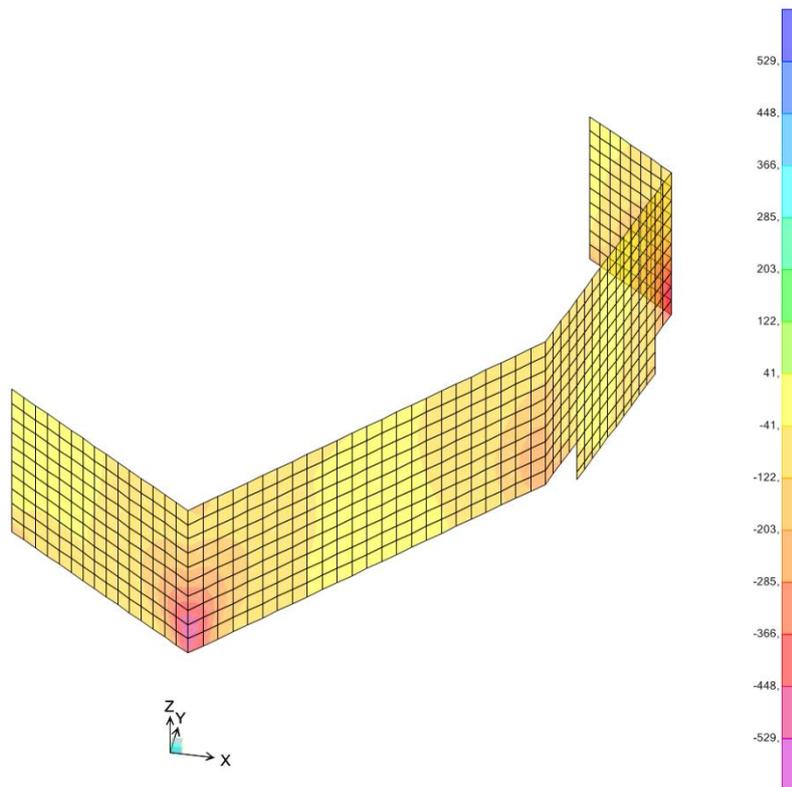
V13 (u.m. kN/m) – Involuppo max combinazioni ECC



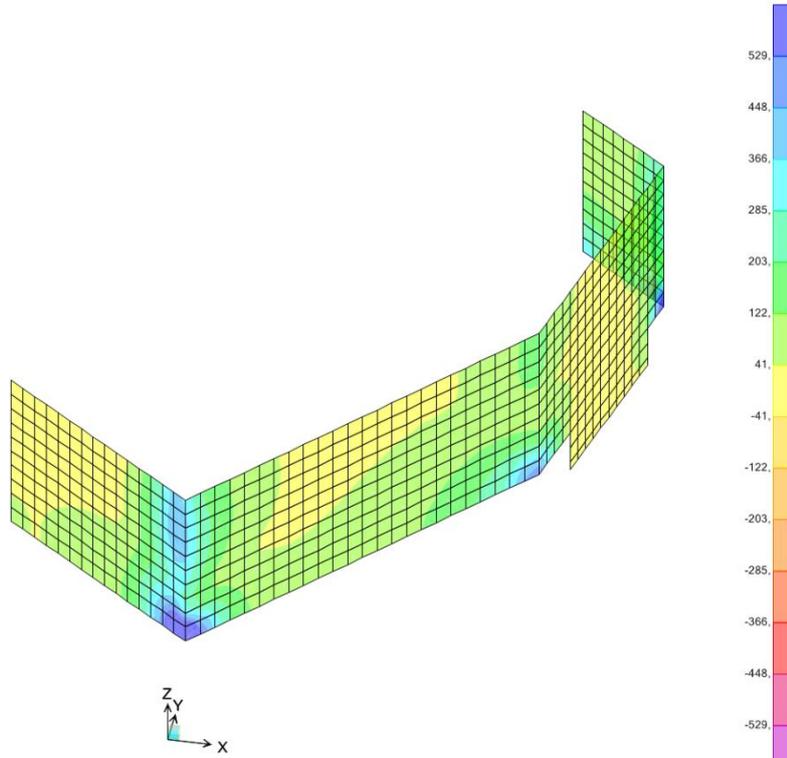
V13 (u.m. kN/m) – Involuppo min combinazioni ECC



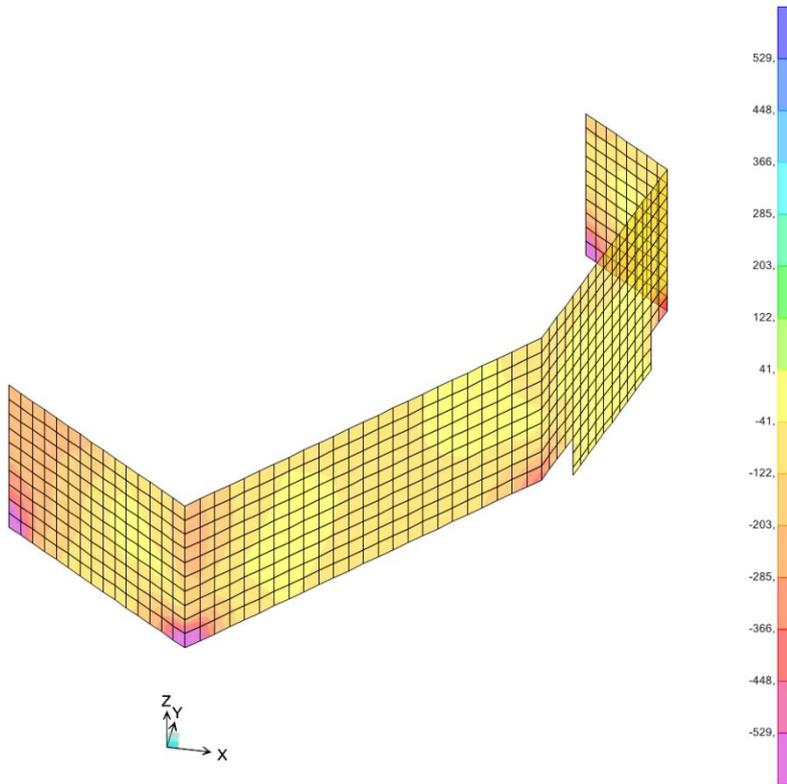
V13 (u.m. kN/m) – Involuppo max combinazioni SLV



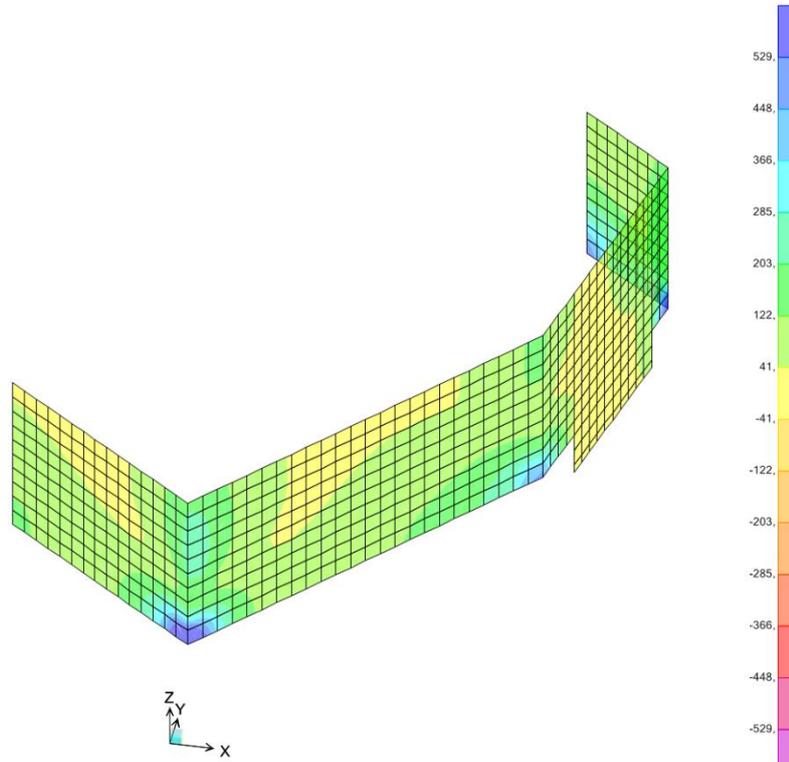
V13 (u.m. kN/m) – Involuppo min combinazioni SLV



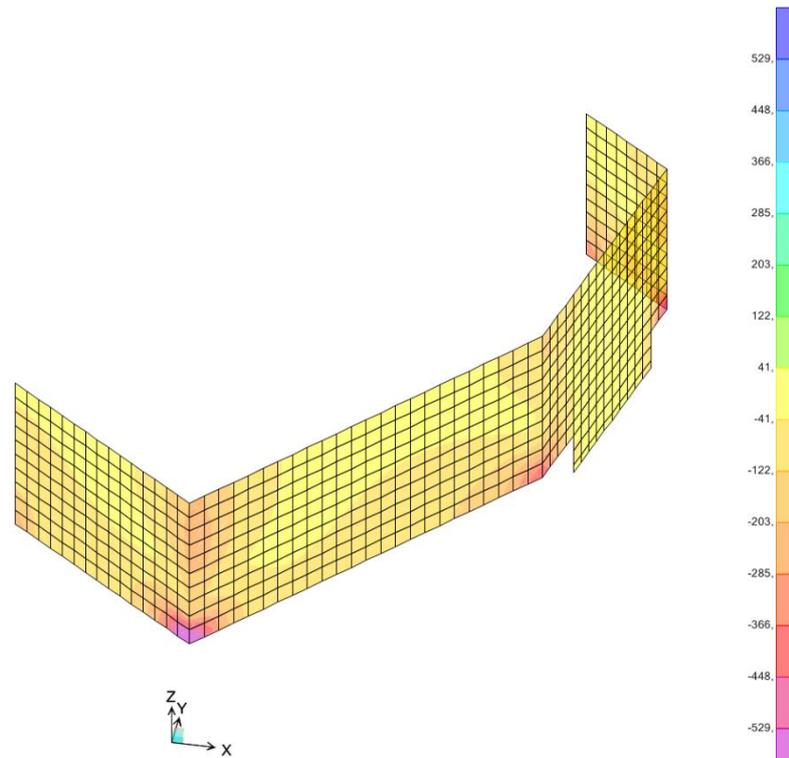
V23 (u.m. kN/m) – Involuppo max combinazioni ECC



V23 (u.m. kN/m) – Involuppo min combinazioni ECC



V23 (u.m. kN/m) – Involuppo max combinazioni SLV



V23 (u.m. kN/m) – Involuppo min combinazioni SLV

Si conclude che non sono necessarie armature a taglio; in ogni caso si disporranno spille $\varnothing 12/30 \times 30$.



**Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di
Matera con la rete ferroviaria nazionale**

NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

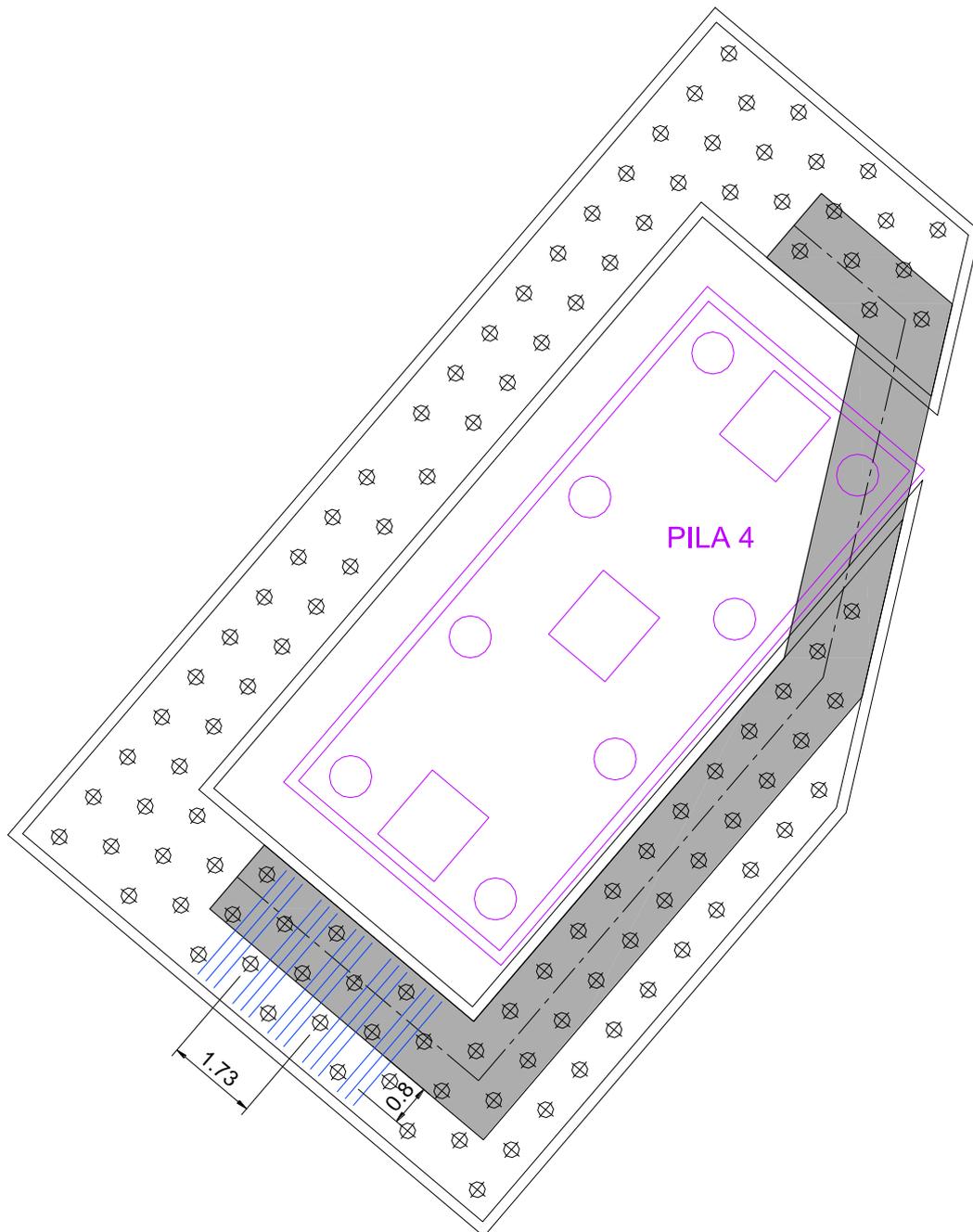
**Relazione di calcolo – Opera di
Protezione Pila 4**

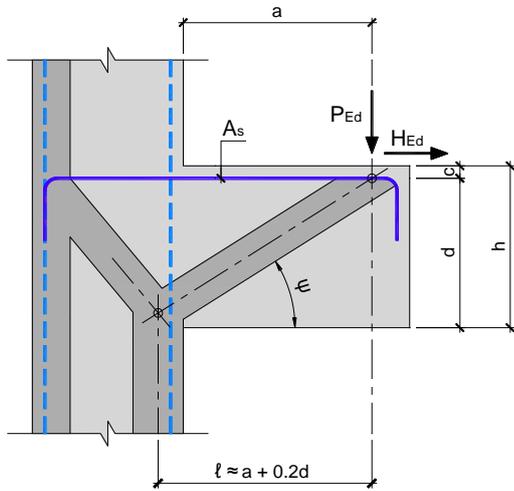
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D 78 CL	MU75B0 001	A	42 DI 44

6.4. Verifica della trave h 160cm

Per la verifica della trave si fa riferimento a un meccanismo di mensola tozza; gli sforzi considerati sono le azioni massime agenti in testa ai micropali (combinazioni SLV - vedere § 6.1 della presente relazione -):

- $N_{max} = 452$ kN;
- $H_{max} = 136$ kN.





$P_{Ed} = 452 \text{ kN}$

$H_{Ed} = 136 \text{ kN}$

$a = 80 \text{ cm}$

$b = 86,5 \text{ cm}$ larghezza mensola

$h = 160 \text{ cm}$ altezza mensola

$c = 10 \text{ cm}$ copriferro

$d = 150 \text{ cm}$

$l = 110 \text{ cm}$

$\psi = 53,746^\circ$

Armatura (A_s)

$\varnothing_1 = 24 \text{ mm}$ diametro barre tipo 1

$n_1 = 3$ n° barre tipo 1

$\varnothing_2 = 0 \text{ mm}$ diametro barre tipo 2

$n_2 = 0$ n° barre tipo 2

$\varnothing_3 = 0 \text{ mm}$ diametro barre tipo 3

$n_3 = 0$ n° barre tipo 3

$A_s = 13,6 \text{ cm}^2$

Mensola con staffe: NO → c = 1

Materiali

CLS

Classe = Rck 40

$f_{ck} = 33,2 \text{ MPa}$

$\alpha_{cc} = 0,85$

$\gamma_c = 1,5$

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 18,81 \text{ MPa}$

ARMATURE

$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

$\gamma_s = 1,15$

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391,3 \text{ MPa}$

Verifica del tirante

$P_{Rs} = (A_s f_{yd} - H_{Ed}) / \lambda$ con $\lambda = \text{ctg}(\psi) \approx l / (0,9 d)$

$\lambda = 0,815$

$P_{Rs} = 485 \text{ kN}$

$P_{Rs} > P_{Ed}$ → verifica soddisfatta

Verifica del puntone di cls

$P_{Rs} = 0,4 b d f_{cd} c / (1 + \lambda^2) = 5.868 \text{ kN}$

$P_{Rc} > P_{Rs}$ → verifica soddisfatta