

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA**

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA

BARRIERE ANTIRUMORE

SCALA:

Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m

-

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

RS3E 50 D 78 CL BA0000 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	M.Piscitelli	Dicembre 2019	L. Fanelli	Dicembre 2019	F. Sparacino	Dicembre 2019	Dice

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane
Direzione Generale
UO Infrastrutture Sud
Dott. Ing. Danilo Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10878

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA	5
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI	8
4.1	CALCESTRUZZO	8
4.1.1	<i>Magrone</i>	8
4.1.2	<i>Calcestruzzo per barriere - C37/45</i>	8
4.1.3	<i>Calcestruzzo per opere in calcestruzzo armato portante: OPERE</i>	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.1.4	<i>Calcestruzzo riempimento micropali</i>	9
4.2	ACCIAIO	11
4.2.1	<i>Acciaio per cemento armato</i>	11
4.2.2	<i>Acciaio da carpenteria, per tubolari micropali e relativi piatti</i>	11
4.2.3	<i>Bulloni e viti</i>	11
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	12
5.1	MODELLO GEOTECNICO DI PROGETTO	12
6	ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO	13
6.1	PESI PROPRI	13
6.2	CARICHI VARIABILI	13
6.2.1	<i>Carico del vento</i>	13
6.2.2	<i>Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario</i>	16
6.2.1	<i>Combinazione dell'azione del vento e dell'azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario</i>	17
6.3	AZIONE SISMICA	17
7	COMBINAZIONI DI CARICO	21
7.1	COMBINAZIONI STATICHE E SISMICHE	22
8	MODELLO DI CALCOLO	23
8.1	SCHEMATIZZAZIONE MICROPALI DI FONDAZIONE	25

Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78CL	BA0000 002	A	3 di 53

8.2	AZIONI APPLICATE NEL MODELLO F.E.M.....	28
9	ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI	29
9.1	SOLLECITAZIONI TRAVE ENV_SLU-SLV	29
9.2	SOLLECITAZIONI TRAVE ENV_SLE	32
9.3	REAZIONE NEI PALI.....	33
10	RISULTATI VERIFICHE.....	34
10.1	VERIFICHE DI RESISTENZA DELLA TRAVE DI SCAVALCO	34
10.1.1	<i>Verifiche a flessione deviata.....</i>	34
10.1.1	<i>Verifiche a taglio, torsione e a taglio torsione</i>	35
10.1.2	<i>Verifiche agli SLE</i>	36
10.2	VERIFICHE DEI PLINTI DI FONDAZIONE.....	36
10.2.1	<i>Verifica a punzonamento dei plinti di fondazione</i>	38
10.3	VERIFICHE DEI MICROPALI DI FONDAZIONE	40
10.3.1	<i>Verifiche di portanza verticale</i>	40
10.3.2	<i>Verifica di resistenza armatura micropali.....</i>	44
10.3.1	<i>Verifiche cedimenti micropali (SLE)</i>	47
10.3.2	<i>Verifica a carico limite orizzontale: palo singolo</i>	48
11	CONCLUSIONI	53

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m				
COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A	FOGLIO 4 di 53

1 PREMESSA

Il presente documento viene emesso nell’ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo relativo alla tratta a semplice binario Dittaino – Catenanuova del Nuovo Collegamento Palermo – Catania. L’intera tratta Dittaino – Catenanuova ha uno sviluppo complessivo di circa 22,8 km.

L’opera oggetto delle analisi riportate nei paragrafi seguenti rientra fra quelle inserite nella categoria denominata “Barriere Antirumore”.

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 14 gennaio 2008.

In particolare, lo scopo della presente relazione sono i calcoli statici relativi alle dell’opera di scavalco di lunghezza complessiva 19.50 [m] prevista tra le pk. 22+201.5 e 22+220.

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera di scavalco ha lunghezza complessiva 19.5 [m]. Le fondazioni sono costituite da plinti di dimensioni 1.50 x 3.60 x 0.65 [m] fondati su micropali di diametro 225 [mm] con armatura tubolare di diametro 168.3 [mm] e spessore 12 [mm]. La struttura portante è costituita da una trave parete in c.a. di sezione rettangolare 3.5 x 1.0 [m]. L'opera si inserisce nell'ambito di barriere H1 da impalcato.

Per ulteriori indicazioni si rimanda all'esame degli elaborati progettuali.

Si riportano nel seguito le sezioni tipo dell'opera in progetto.

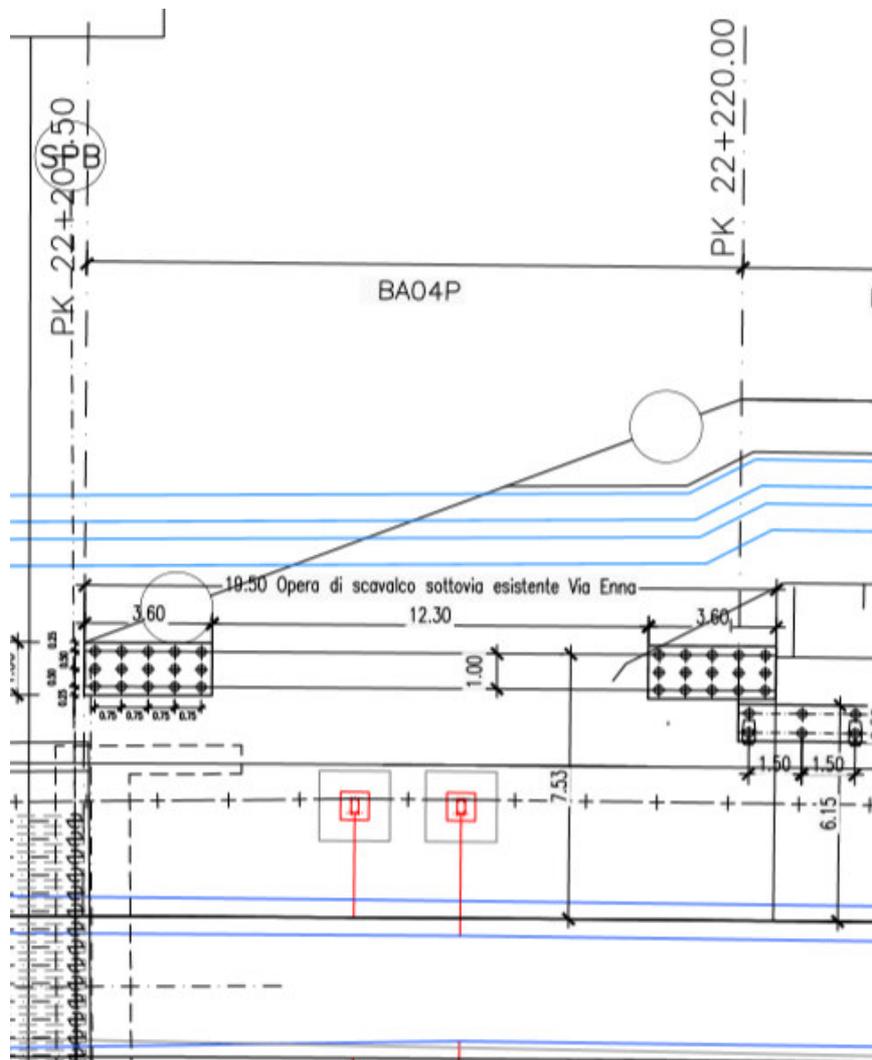


Figura 1 – Pianta scavalco

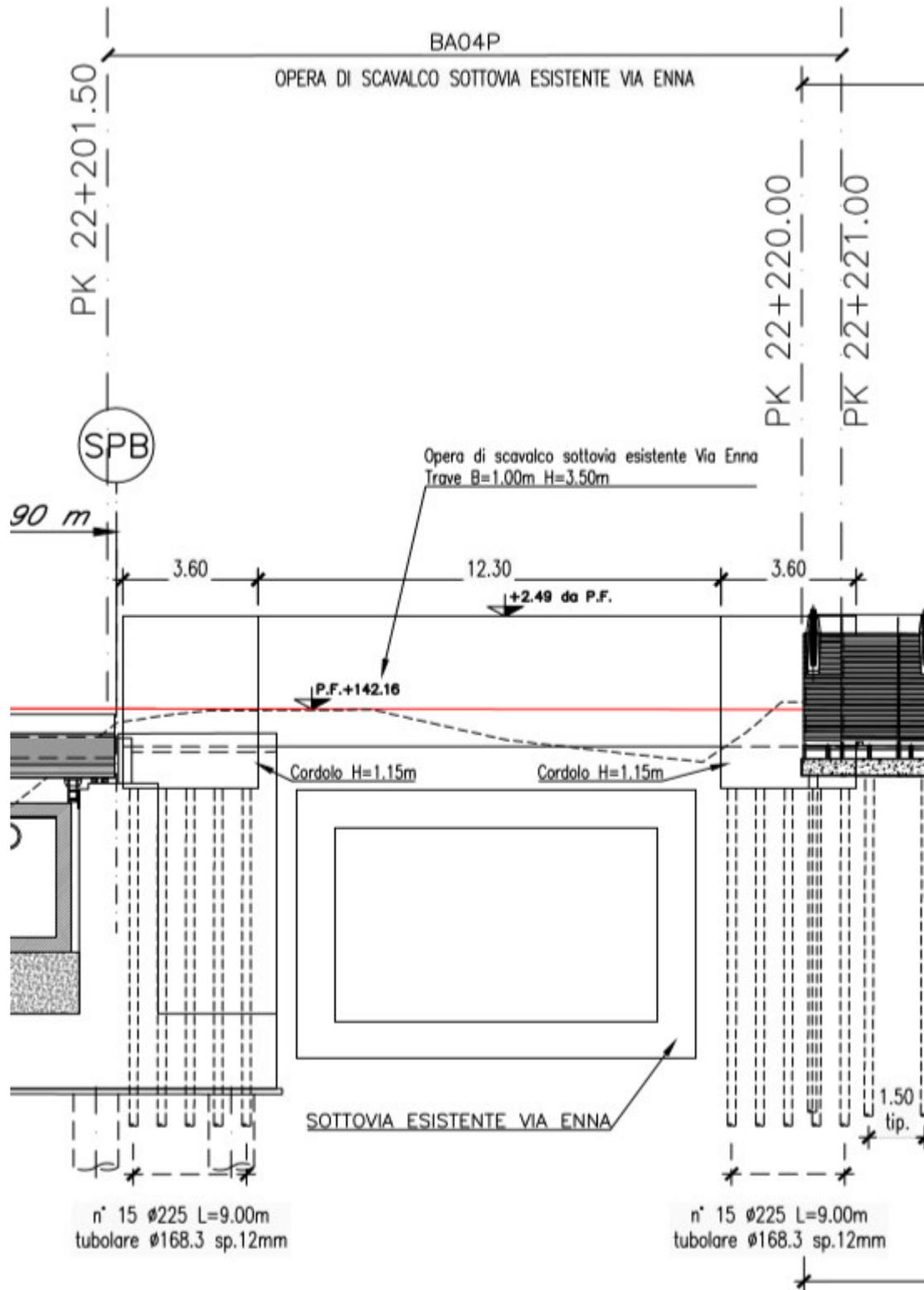


Figura 2 – Prospetto scavalco

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A	FOGLIO 7 di 53

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Di seguito è riportato l'elenco delle Normative e dei Documenti assunti come riferimento per il progetto delle opere trattate nell'ambito del presente documento:

Normative e Documenti tecnici generali

Rif. [1] Ministero delle Infrastrutture dei Trasporti, DM 14 gennaio 2008 – «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni»

Rif. [2] Circolare Applicativa n 617 del 2 Febbraio 2009 - «Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008»

Rif. [3] UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

Documenti Tecnici RFI e/o di ambito ferroviario

Rif. [4] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFIDTCSIMAIIFS001B– rev 22/12/2017)

Rif. [5] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture (RFIDTCSIPSMIIFS 001 B – rev 22/12/2017)

Rif. [6] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFIDTCSICSMAIFS 001 B – rev 22/12/2017)

Rif. [7] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 4 / Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 B – rev 22/12/2017)

Rif. [8] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 5 / Prescrizioni per i Marciapiedi e le Pensiline delle Stazioni Ferroviarie a servizio dei Viaggiatori (RFI DTC SI CS MA IFS 002 A – rev 30/12/2016)

Rif. [9] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 6 / Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 B– rev 22/12/2017)

Rif. [10] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 7 / Geologia (RFI DTC SI CS GE IFS 001 A – rev 22/12/2017)

Rif. [11] 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, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

Rif. [12] Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili (RFIDTCSICSSPIIFS005B - rev 22/12/2017)

Codici di calcolo

- MIDAS CIVIL (v2.2)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

I materiali utilizzati nella realizzazione delle strutture in funzione della utilizzazione sono descritti in seguito.

4.1 Calcestruzzo

4.1.1 Magrone

- Classe di resistenza C12/15;
- contenuto min. cemento 150 kg/m³.

4.1.2 Calcestruzzo per barriere - C37/45

Resistenza cubica a compressione	R_{ck}		N/mm ²	45,0
Resistenza cilindrica a compressione	f_{ck}	$0.83 * R_{ck}$	N/mm ²	37,4
Resistenza cilindrica media a compressione	f_{cm}	$f_{ck}+8$	N/mm ²	45,4
Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli	α_{cc} (t>28gg)		-	0,85
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo	γ_c		-	1,5
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	$(\alpha_{cc} * f_{ck}) / \gamma_c$	N/mm ²	21,2
Resistenza cilindrica media a trazione	f_{ctm}	$0.3 * (f_{ck})^{2/3}$	N/mm ²	3,4
Resistenza cilindrica media a trazione	f_{ctk}	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm ²	2,3
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	f_{ctk} / γ_c	N/mm ²	1,6
Resistenza media a trazione per flessione	f_{efm}	$1.2 * f_{ctm}$	N/mm ²	4,0
Resistenza cilindrica caratteristica a trazione	f_{ctk}	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm ²	2,8
Modulo elastico	E_{cm}	$22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3}$	N/mm ²	34625
Peso proprio	γ_c		N/m ³	25000
Coefficiente di Poisson	ν		-	0,2
Coefficiente di aderenza	η		-	1,0
Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	f_{bk}	$2.25 * \eta * f_{ctk}$	N/mm ²	5,3
Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo	f_{bd}	f_{bk} / γ_c	N/mm ²	3,5

Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.

Massima tensione di compressione in combinazione di carico RARA	σ_c	$0.55 * f_{ck}$	N/mm ²	20,5
Massima tensione di compressione in combinazione di carico PERMANENTE	σ_c	$0.40 * f_{ck}$	N/mm ²	14,9

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

4.1.3 Calcestruzzo per opere in calcestruzzo armato portante: FONDAZIONI

Resistenza cubica a compressione	R_{ck}		N/mm ²	35,0
Resistenza cilindrica a compressione	f_{ck}	$0.83 * R_{ck}$	N/mm ²	29,0
Resistenza cilindrica media a compressione	f_{cm}	$f_{ck}+8$	N/mm ²	37,0
Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli	α_{cc} (t>28gg)		-	0,85
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo	γ_c		-	1,5
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	$(\alpha_{cc} * f_{ck}) / \gamma_c$	N/mm ²	16,5
Resistenza cilindrica media a trazione	f_{ctm}	$0.3 * (f_{ck})^{2/3}$	N/mm ²	2,8
Resistenza cilindrica media a trazione	f_{ctk}	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm ²	1,9
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	f_{ctk} / γ_c	N/mm ²	1,3
Resistenza media a trazione per flessione	f_{cfm}	$1.2 * f_{ctm}$	N/mm ²	3.36.7
Resistenza cilindrica caratteristica a trazione	f_{ctk}	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm ²	2,0
Modulo elastico	E_{cm}	$22000 * (f_{cm}/10)^{0.3}$	N/mm ²	32575
Peso proprio	γ_c		N/m ³	25000
Coefficiente di Poisson	ν		-	0,2
Coefficiente di aderenza	η		-	1,0
Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	f_{bk}	$2.25 * \eta * f_{ctk}$	N/mm ²	4,3
Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo	f_{bd}	f_{bk} / γ_c	N/mm ²	2,9

Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.

Massima tensione di compressione in combinazione di carico RARA	σ_c	$0.55 * f_{ck}$	N/mm ²	16,0
Massima tensione di compressione in combinazione di carico PERMANENTE	σ_c	$0.40 * f_{ck}$	N/mm ²	11,6

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

4.1.4 Calcestruzzo riempimento micropali

Resistenza cubica a compressione	R_{ck}		N/mm ²	30,0
Resistenza cilindrica a compressione	f_{ck}	$0.83 * R_{ck}$	N/mm ²	24,9
Resistenza cilindrica media a compressione	f_{cm}	$f_{ck}+8$	N/mm ²	32,9
Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli	α_{cc} ($t > 28$ gg)		-	0,85
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo	γ_c		-	1,5
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	$(\alpha_{cc} * f_{ck}) / \gamma_c$	N/mm ²	14,1
Resistenza cilindrica media a trazione	f_{ctm}	$0.3 * (f_{ck})^{2/3}$	N/mm ²	2,6
Resistenza cilindrica media a trazione	f_{ctk}	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm ²	1,8
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	f_{ctk} / γ_c	N/mm ²	1,2
Resistenza media a trazione per flessione	f_{ctfm}	$1.2 * f_{ctm}$	N/mm ²	3,1
Resistenza cilindrica caratteristica a trazione	f_{ctk}	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm ²	2,1
Modulo elastico	E_{cm}	$22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3}$	N/mm ²	31447
Peso proprio	γ_c		N/m ³	25000
Coefficiente di Poisson	ν		-	0,2
Coefficiente di aderenza	η		-	1,0
Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	f_{bk}	$2.25 * \eta * f_{ctk}$	N/mm ²	4,0
Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo	f_{bd}	f_{bk} / γ_c	N/mm ²	2,7

Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.

Massima tensione di compressione in combinazione di carico RARA	σ_c	$0.55 * f_{ck}$	N/mm ²	13,7
Massima tensione di compressione in combinazione di carico PERMANENTE	σ_c	$0.40 * f_{ck}$	N/mm ²	10,0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

4.2 Acciaio

4.2.1 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Classe di Resistenza ▼

Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} = 540$ MPa (frattile al 5%)

Tensione caratteristica allo snervamento: $f_{yk} = 450$ MPa (frattile al 5%)

Fattore di sovrarresistenza (nel caso di impiego di legame costitutivo tipo bilineare con incrudimento)

$k = f_{tk}/f_{yk} = 1.20$ MPa

Allungamento a rottura (nel caso di impiego di legame costitutivo tipo bilineare con incrudimento)

$(A_{gt})_k = \varepsilon_{uk} = 7.5$ %

$\varepsilon_{ud} = 0,9 \varepsilon_{uk} = 6.75$ %

* Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU: $\gamma_c = 1.15$

Resistenza di calcolo allo SLU: $f_{yd} = 391.3$ MPa (f_{yk}/γ_s)

Modulo di elasticità: $E_f = 210000$ MPa

$-\sigma_s < 0,75 f_{yk} = 0,75 \cdot 450 = 337,50$ N/mm² → tensione massima di esercizio per l'acciaio SLE rara.

4.2.2 Acciaio da carpenteria, per tubolari micropali e relativi piatti

Si prescrive l'utilizzo di profilati in acciaio laminati a caldo **S275**:

Tensione di snervamento $f_{yk} \leq 275$ N/mm²;

Tensione di rottura $f_{tk} \leq 430$ N/mm²;

Modulo elastico $E = 210.000$ N/mm²;

Coefficiente di Poisson $\nu = 0,3$;

Modulo di elasticità trasversale $G = E / [2 (1 + \nu)] = 80769.23$ N/m²;

Coefficiente di espansione termica lineare $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ per °C-1 (per T fino a 100 °C);

Densità $\rho = 7.850$ kg/m³.

4.2.3 Bulloni e viti

VITE 8.8 - DADO 8

Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore	Note
Tensione di snervamento	f_{yb}		N/mm ²	649	
Tensione di rottura	f_{tb}		N/mm ²	800	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Nel presente capitolo si riporta la caratterizzazione geotecnica per l'opera in esame, valutata sulla base dell'interpretazione delle indagini geotecniche svolte in prossimità dell'opera.

5.1 Modello geotecnico di progetto

Alla luce dell'analisi delle indagini in situ per la caratterizzazione geotecnica delle unità è stata considerata la condizione stratigrafica peggiore tra le varie condizioni relative alle opere oggetto di studio:

Tabella 1 Caratterizzazione geotecnica delle singole unità

UNITA'	Profondità [m]	γ [kN/m ³]	φ' [°]	c' [kPa]	c_u [kPa]	E_0 [MPa]	N_{SPT}
Ra	0.0÷5.5	20.0	35	0	-	200	-
bbc	5.5÷9.5	19,5	25	0	80	150	17 – 57
bbi	9.5÷22.0	19,5	38	0	-	300 ÷ 650	6 - 48
AAC	22.0÷40.0	20.5	24	5	300 (z<30m) 350 (z>30m)	400 ÷ 1000	30 - R

FALDA: +129 m s.l.m. (circa 7m di profondità dal p.c.locale)

Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A	FOGLIO 13 di 53

6 ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO

Le analisi sono riferite alla struttura costituita dalla trave parete in c.a. e al sistema di fondazione costituito da plinti in c.a. su micropali.

6.1 Pesi propri

Il peso proprio degli elementi strutturali in c.a. viene automaticamente calcolato dal software a partire dal peso specifico del c.a. pari a 25 kN/m³.

6.2 Carichi variabili

6.2.1 Carico del vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti dirette secondo due assi principali della struttura, tali azioni esercitano normalmente all'elemento di parete o di copertura, pressioni e depressioni p (indicate rispettivamente con segno positivo e negativo) di intensità calcolate con la seguente espressione:

$$p = q_b c_e c_p c_d$$

- q_b = pressione cinetica di riferimento;
- c_e = coefficiente di esposizione ;
- c_p = coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico);
- c_d = coefficiente dinamico.

Pressione cinetica di riferimento:

La pressione cinetica di riferimento q_b (N/m²) è data dall'espressione: $q_b = \frac{1}{2} \rho v^2$

Dove:

- v_b = velocità di riferimento del vento (m/s)
- ρ = densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³.



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

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

La regione (Sicilia) ricade in zona 4 (tabella 3.3.I) pertanto si ha:

Calcolo della pressione cinetica di riferimento (NTC 08)

$V_{b,o} =$	28.00	m/s	Tabella 3.3.1 NTC 18
$a_o =$	500	m/s	Tabella 3.3.1 NTC 18
$k_s =$	0.36	1/s	Tabella 3.3.1 NTC 18
$v_b =$	28	m/s	Velocità di riferimento (par.3.3.1 NTC18)
$\rho =$	1.25	kg/m ³	Densità aria
$q_b =$	0.490	kN/m ²	Pressione cinetica di riferimento

Coefficiente di esposizione:

Il coefficiente d'esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione (k_r , z_0 , z_{min}).

Il valore di c_e può essere ricavato mediante la relazione:

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

Dove k_r , z_0 e z_{min} sono definiti nella tabella seguente:

Tabella 2 Schema per la definizione della categoria di esposizione – cfr. NTC08

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

Tab. 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 15 m
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	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate,)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorge nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa					
	mare					
	2 km	10 km	30 km			
				500m	750m	
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						

Il coefficiente di topografia si assume pari a: $C_t = 1$

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

Riassumendo:

Calcolo Coefficiente di Esposizione

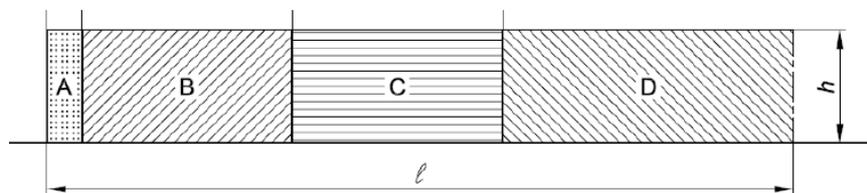
Classe rugosità	D	tab. 3.3.III NTC 18
Cat. Esp.	II	tab. 3.3.III NTC 18
$k_r =$	0.19	- tab. 3.3.III NTC 18
$z_0 =$	0.05 m	tab. 3.3.III NTC 18
$z_{min} =$	4.00 m	tab. 3.3.III NTC 18
$z =$	5.00 m	Altezza suolo del punto considerato
$c_e =$	1.93	- Coefficiente di esposizione

Coefficiente dinamico:

Il coefficiente dinamico viene cautelativamente assunto unitario: $c_d = 1.0$.

Coefficiente di forma:

Per la determinazione del coefficiente di forma si fa riferimento all'Eurocodice 1 – Prospetto 7.9 in cui si divide in zone l'elemento strutturale secondo lo schema seguente:



prospetto 7.9 Valori raccomandati dei coefficienti di pressione $c_{p,net}$ per pareti libere e parapetti

Solidità	Zona	A	B	C	D	
$\varphi = 1$	Senza angoli di ritorno	$r/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
		$r/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$r/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
	Con angoli di ritorno di lunghezza $\geq h^2$	2,1	1,8	1,4	1,2	
$\varphi = 0,8$		1,2	1,2	1,2	1,2	

a) Per angoli di ritorno aventi lunghezza compresa tra 0.0 e h si può impiegare l'interpolazione lineare.

Per ogni zona si determina un differente coefficiente di forma; tuttavia nell'ottica di condurre un calcolo semplificato si opta per ridurre a due le zone considerate:

- una zona laterale di larghezza pari a $4h$ [altezza barriera], a cui si assegna un coefficiente $c_p = 2.1$;
- una zona centrale che si trova compresa internamente alle zone di estremità rispetto allo sviluppo longitudinale della singola opera con $c_p = 1.2$.

Il coeff. di forma $c_p = 3,4$ viene compensato considerando alle estremità della barriera doppi montanti e micropali con passo dimezzato su uno sviluppo di $0,3h$, dove h è l'altezza della barriera.

Nel caso in esame considerato si assume un coefficiente di pressione netta c_p pari a 2.1.

In definitiva abbiamo quindi:

$q_b =$	0.490	kN/m^2
$c_t =$	1.0	Coefficiente Topografico
$c_p =$	2.1	Coefficiente di forma
$c_e =$	1.93	Coefficiente di esposizione
$c_d =$	1.0	Coefficiente dinamico

Pertanto: $P_v = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 1.99 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$ Pressione del vento

6.2.2 Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

In accordo con le istruzioni RFI [RFI DTC INC PO SP IFS 001 B – 1.4.6] e con le NTC 2008 [NTC – 5.2.2.6.4], il passaggio dei convogli ferroviari induce sulle superfici situate in prossimità della linea ferroviaria (per esempio, barriere antirumore) onde di pressione e depressione. Le azioni possono essere schematizzate mediante carichi statici equivalenti agente sulla barriera.

Le barriere antirumore previste per l'opera in esame hanno asse verticale, per cui il calcolo viene effettuato facendo riferimento al paragrafo 5.2.2.6.4 delle NTC. Per la linea in esame è possibile considerare, cautelativamente, convogli con forme aerodinamiche sfavorevoli e aventi velocità massima $\leq 180 \text{ km/h}$.

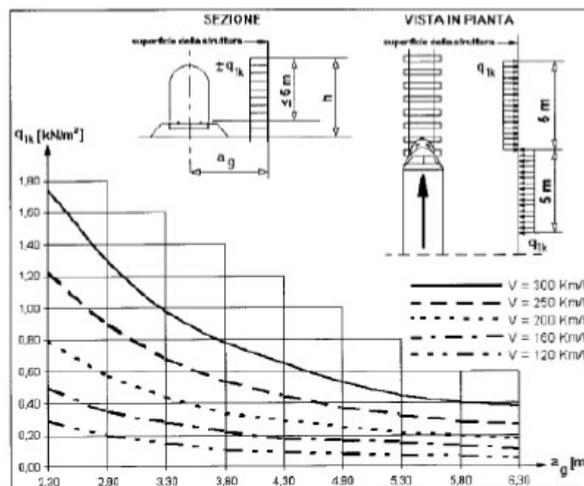


Figura 3 valori caratteristici delle azioni q_{1k} su superfici verticali e parallele al binario

$a_g = 6 \text{ m}$

L'azione aerodinamica vale dunque cautelativamente $q_{1k} = 0.2 \text{ kN/m}^2$.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m				
COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A	FOGLIO 17 di 53

6.2.1 Combinazione dell'azione del vento e dell'azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

L'azione deve essere cumulata con l'azione del vento in direzione perpendicolare all'asse del binario, tenendo conto che il D.M.2008 al paragrafo 5.2.3.2.2 afferma che in ogni caso l'azione risultante dalla somma dell'azione del vento con le azioni aerodinamiche deve essere maggiore di un valore minimo, funzione della velocità della linea e comunque di $1,5 \text{ kN/m}^2$ sia nelle verifiche agli SLE (combinazione caratteristica rara), che nella verifica agli SLU. Secondo il documento RFI DTC INC PO SP IFS 001 B, il valore minimo della combinazione del vento e dell'azione aerodinamica si assume pari a 1.5 kN/m^2 per linee percorse a velocità $V \leq 200 \text{ km/h}$. Nel caso in esame, risulta:

$$P = p_v + q_{1k} = 1.99 + 0.20 = 2.19 \text{ kN/m}^2 > 1.5 \text{ kN/m}^2$$

Nel modello di calcolo verranno pertanto considerate le seguenti azioni:

$$\text{- Vento} = 2.19 \text{ kN/m}^2 \quad q_{1k} = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

6.3 Azione Sismica

Con riferimento alla normativa vigente le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R .

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Gli spettri di risposta di progetto sono stati definiti per tutti gli stati limite considerati, e, note la latitudine e la longitudine del sito, si sono ricavati i valori dei parametri necessari alla definizione dell'azione sismica e quindi del relativo spettro di risposta. Più avanti sono indicati i valori di a_g , F_0 e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Nel caso in esame:

Vita nominale	VN= 50 anni
Classe d'uso II	Cu= 1
Periodo di riferimento per l'azione sismica	VR= VN • Cu= 50
Categoria di sottosuolo	C

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m				
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78CL	BA0000 002	A	18 di 53

Per il calcolo in condizioni sismiche si utilizza il metodo dell'analisi lineare statica con spettro di risposta come definito in NTC 08 [§ 7.3.3]. Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali: $G1 + G2 + \psi_2 Q_k$.

In vista della progettazione del sistema di fondazione su micropali, il fattore di struttura scelto è pari a $q_0 = 1$.

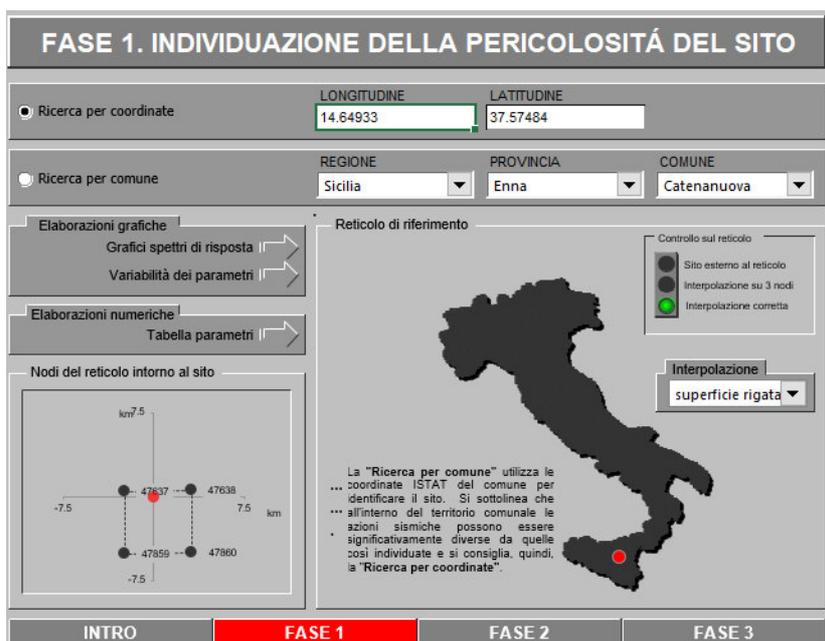


Figura 4 : Fase 1- Individuazione della pericolosità del sito (ricerca per coordinate)



Figura 5 Scelta della strategia di progettazione (Fase 2)

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m					
COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A	FOGLIO 19 di 53	

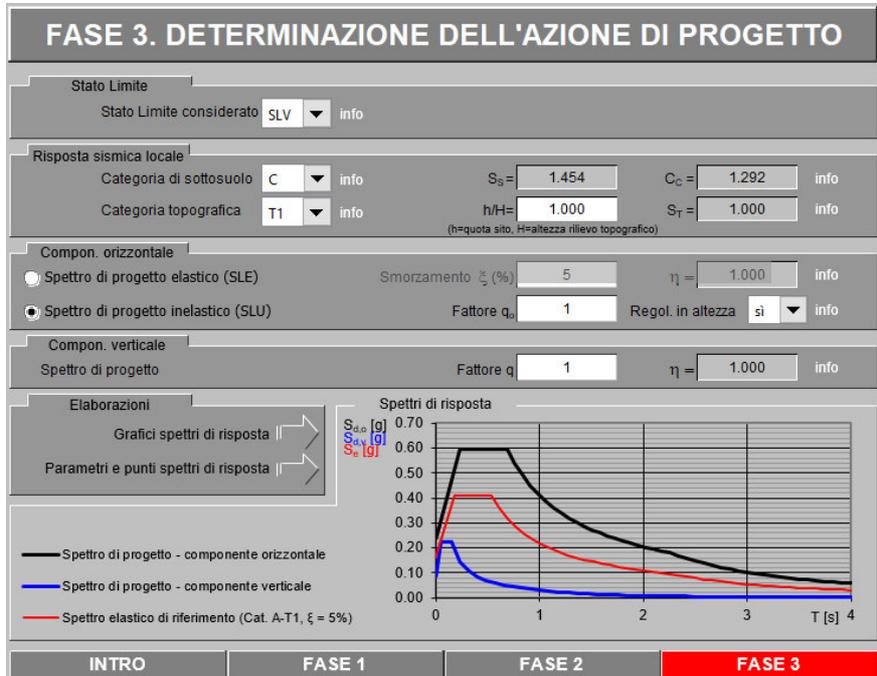


Figura 6 Determinazione dell'azione di progetto (Fase 3)

La componente della forza sismica orizzontale legata alla massa della struttura è data dalla seguente formula presente nel D.M.2018:

dove:

$F_{ih,i}$ è la forza da applicare alla massa i -esima;

W_i è il peso della massa i -esima;

$S_e(T_i)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito in precedenza;

λ è un coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se $T_i < 2 \cdot T_C$, pari a 1,0 in tutti gli altri casi;

g è l'accelerazione di gravità terrestre ($9,80665 \text{ m/s}^2$).

L'azione sismica si considera per mezzo dello spettro di risposta di progetto, considerando un fattore di struttura $q=1$;

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_s	0.163 q
F_s	2.524
T_c	0.533 r
S_s	1.454
C_c	1.292
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.454
η	1.000
T_B	0.230 r
T_C	0.689 r
T_D	2.251 r

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (5 + \xi)} \geq 0.5 \xi \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; § 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 40 \cdot a_s / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_d \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_d} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_d$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_d \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_d \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

La spettro di risposta $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è attenuata dalle espressioni della spettro elastica $S_e(T)$ moltiplicando con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.237
	0.230	0.597
T_B	0.689	0.597
	0.763	0.539
	0.838	0.491
	0.912	0.451
	0.986	0.417
	1.061	0.388
	1.135	0.362
	1.210	0.340
	1.284	0.320
	1.358	0.303
	1.433	0.287
	1.507	0.273
	1.581	0.260
	1.656	0.248
	1.730	0.238
	1.805	0.228
	1.879	0.219
	1.953	0.211
	2.028	0.203
	2.102	0.196
	2.177	0.189
T_D	2.251	0.182
	2.334	0.170
	2.417	0.158
	2.501	0.148
	2.584	0.139
	2.667	0.130
	2.751	0.122
	2.834	0.115
	2.917	0.109
	3.001	0.103
	3.084	0.097
	3.167	0.092
	3.250	0.088
	3.334	0.083
	3.417	0.079
	3.500	0.076
	3.584	0.072
	3.667	0.069
	3.750	0.066
	3.833	0.063
	3.917	0.060
	4.000	0.058

Figura 7 Spettro di progetto: valori

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m				
COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A	FOGLIO 21 di 53

7 COMBINAZIONI DI CARICO

Di seguito si esplicitano in maniera sintetica le formulazioni utilizzate per definire le diverse combinazioni di carico agli stati limite ultimi (SLU/SLV) e di esercizio (SLE), utilizzando i coefficienti di sicurezza e combinazione riassunti al paragrafo precedente.

Per le combinazioni in condizioni ultime da utilizzarsi per le verifiche strutturali di resistenza si considerano:

- Combinazioni fondamentali

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

- Combinazioni sismiche o eccezionali

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

Per le combinazioni di esercizio agli SLE si considerano:

- Combinazioni rare (caratteristiche):

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

- Combinazioni frequenti:

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

- Combinazioni quasi permanenti:

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

Gli effetti dei carichi verticali vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario.. Si specifica che si è scelto di operare attraverso l'Approccio 2 prescritto dalla norma [NTC – 2.6.1] che prevede un'unica tipologia di combinazioni di carico del tipo A1+M1+R3. Di tali coefficienti si è scelto sempre il valore *sfavorevole* per la struttura.

In accordo con quanto specificato al p.to 6.4.3.1 del D.M. 17/01/2018, anche la verifica di capacità portante dei pali viene eseguita adoperando un Approccio A1+M1+R3.

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

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
	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.

7.1 Combinazioni statiche e sismiche

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei coefficienti moltiplicativi per le combinazioni di carico statiche e sismiche:

COMBINAZIONI SLU (A1-M1-R3)			
COMB	G1	Vento	V _{AE}
1	1.35	1.5	1.5
2	1.35	-1.5	-1.5
3	1	1.5	1.5
4	1	-1.5	-1.5

COMBINAZIONI SLE RARA			
COMB	G1	Vento	V _{AE}
5	1	1	1
6	1	-1	-1

COMBINAZIONI SLE FREQUENTI			
COMB	G1	Vento	V _{AE}
7	1	0.5	0.5
8	1	-0.5	-0.5

COMBINAZIONI SLE QUASI PERMANENTI			
COMB	G1	Vento	V _{AE}
9	1	0	0

COMBINAZIONI SLV				
COMB	Tipo	G1	Sisma dir.X	Sisma dir.Y
10	Sismica X1	1	1	0,3
11	Sismica X2	1	1	-0,3
12	Sismica X3	1	-1	0,3
13	Sismica X4	1	-1	-0,3
14	Sismica Y1	1	0,3	1
15	Sismica Y2	1	-0,3	1
16	Sismica Y3	1	0,3	-1
17	Sismica Y4	1	-0,3	-1

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m				
COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A	FOGLIO 23 di 53

8 MODELLO DI CALCOLO

L'analisi del comportamento globale delle opere di scavalco è stato effettuato con l'ausilio del software *MIDAS CIVIL 2019*, distribuito in Italia dalla *CSPFea* (Padova).

Le opere sono state modellate per mezzo di elementi finiti lineare in grado di descrivere il comportamento di ciascun elemento. Al fine di determinare correttamente le sollecitazioni e le deformazioni indotte dai carichi il modello è così realizzato:

- fondazione modellata con elementi *shell* con opportuna *meshatura* di ciascun elemento che permette di individuare le zone in cui si concentrano le tensioni. Questo permette anche di tener conto dell'eccentricità dei pali di fondazione rispetto all'asse della stessa;
- trave di scavalco modellata con elemento *beam* al fine di determinare le sollecitazioni derivanti dalle barriere; la connessione tra trave-parete e fondazione avviene per mezzo di un vincolo *constraints* tipo "body" che permette di vincolare tutti e 6 i g.d.l.;
- i pali vengono schematizzati attraverso molle (*springs*) che ne simulano la rigidezza; i valori di rigidezza orizzontale e verticale utilizzati sono conformi a quanto specificato al paragrafo seguente.

La presenza delle barriere e dei rispettivi pannelli è stata schematizzata mediante carichi concentrati applicati all'estradosso della trave parete ed in corrispondenza della posizione dei montanti in acciaio; sono state tenute in conto anche le azioni variabili del vento e dagli effetti aerodinamici indotti dal passaggio dei treni.

Gli assi globali X, Y, Z sono orientati nel seguente modo:

- X: asse longitudinale (in direzione longitudinale ai binari, dunque all'opera di scavalco)
- Y: asse trasversale (in direzione trasversale ai binari)
- Z: asse verticale

Nelle figure seguenti sono riportate delle viste complete del modello di calcolo.

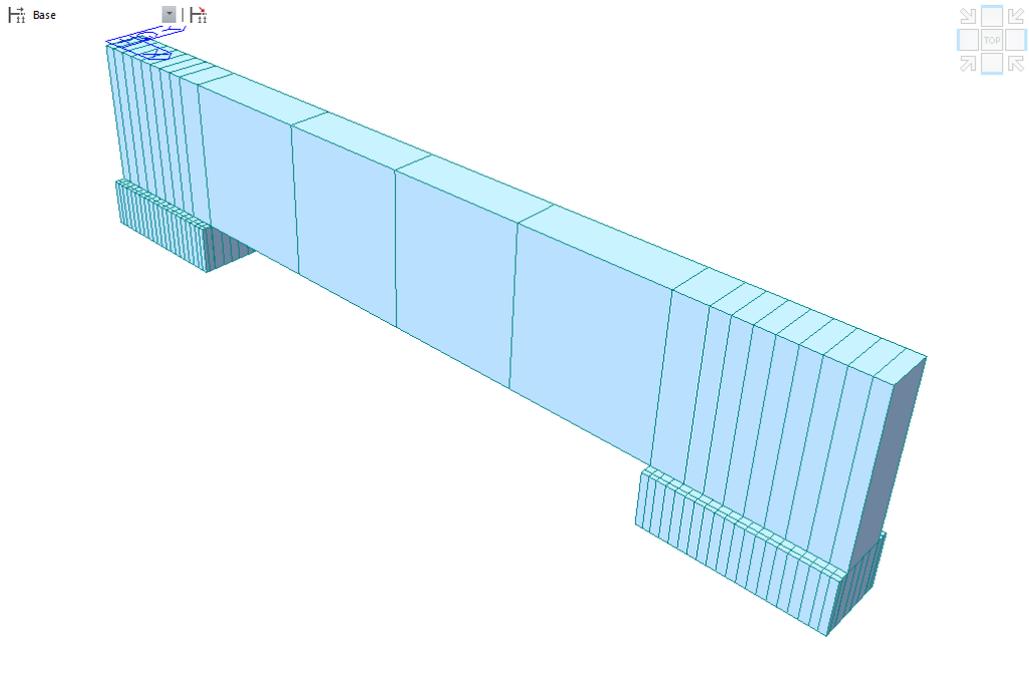


Figura 8 Modello di calcolo vista estrusa

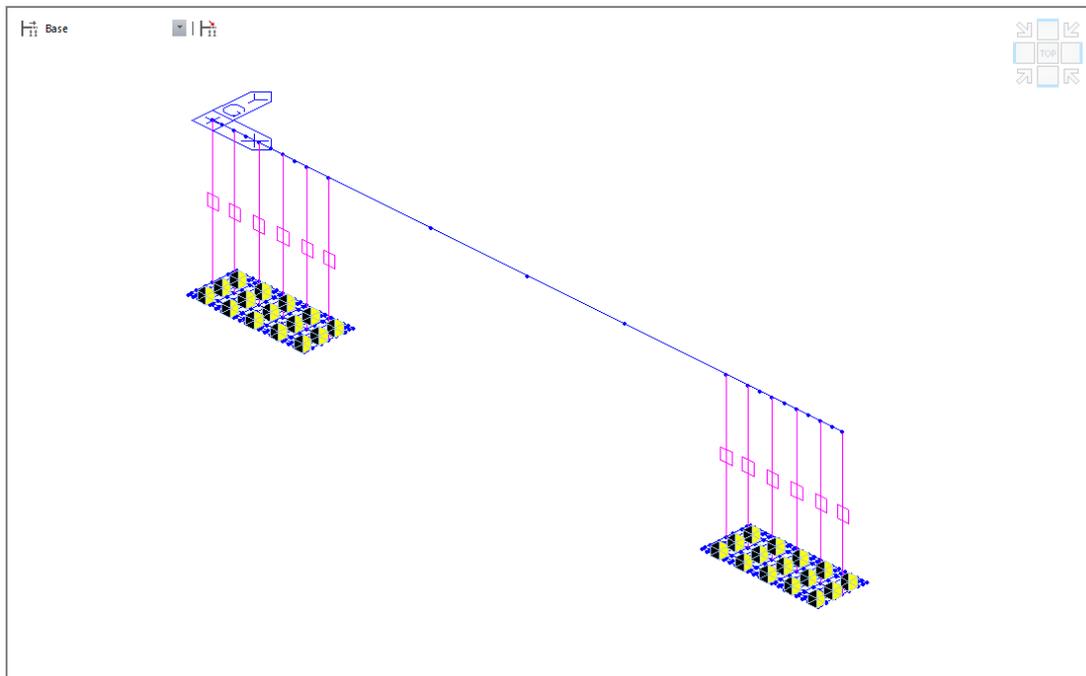


Figura 9 Modello di calcolo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m				
COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A	FOGLIO 25 di 53

8.1 Schematizzazione micropali di fondazione

La rigidezza dei pali è stata schematizzata attraverso l'applicazione di vincoli elastici (springs) disposti secondo le tre direzioni principali.

Per la valutazione della rigidezza in direzione orizzontale si è considerata la trattazione di Matlock-Reese considerando il singolo palo come impedito di ruotare in testa. Mentre il terreno è stato considerato come un letto di molle a rigidezza variabile linearmente con la profondità secondo la legge:

$$k_h = n_h \cdot z/d$$

dove:

- z è la profondità dello strato di interesse;
- d è il diametro del palo;
- n_h valore di letteratura.

Valori indicativi per n_h sono riportati nelle tabelle seguenti:

Stato di addensamento	Sciolto	Medio	Denso
n_h [N/cm ³] sabbie non immerse	2.5	7.5	20
n_h [N/cm ³] sabbie immerse	1.5	5	12

Tabella correlazione tra n_h e tipologia di terreno incoerente

[da Fondazioni, di C.Viggiani – Tabella 14.5]

Tipo di terreno	n_h [N/cm ³]	Fonte
Argilla n.c. o lievemente o.c.	0.2 - 3.5	Reese, Matlock, 1956
	0.3 - 0.5	Davisson, Prakash
Argilla organica n.c.	0.1 - 1	Peck, Davisson, 1970
	0.1 - 0.8	Davisson 1970
Torba	0.05	Davisson, 1970
	0.03 - 0.1	Wilson, Hilts, 1967
Loess	8 - 10	Bowles, 1968

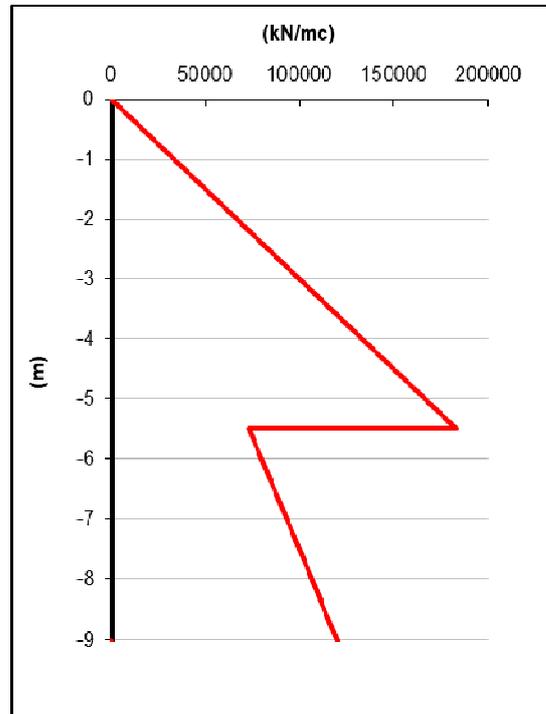
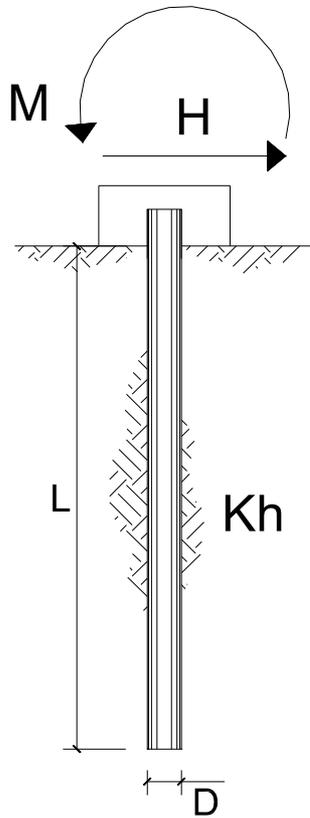
Valori orientativi di n_h per terreni coesivi

[da Fondazioni, di C.Viggiani – Tabella 14.6]

Nel caso in esame:

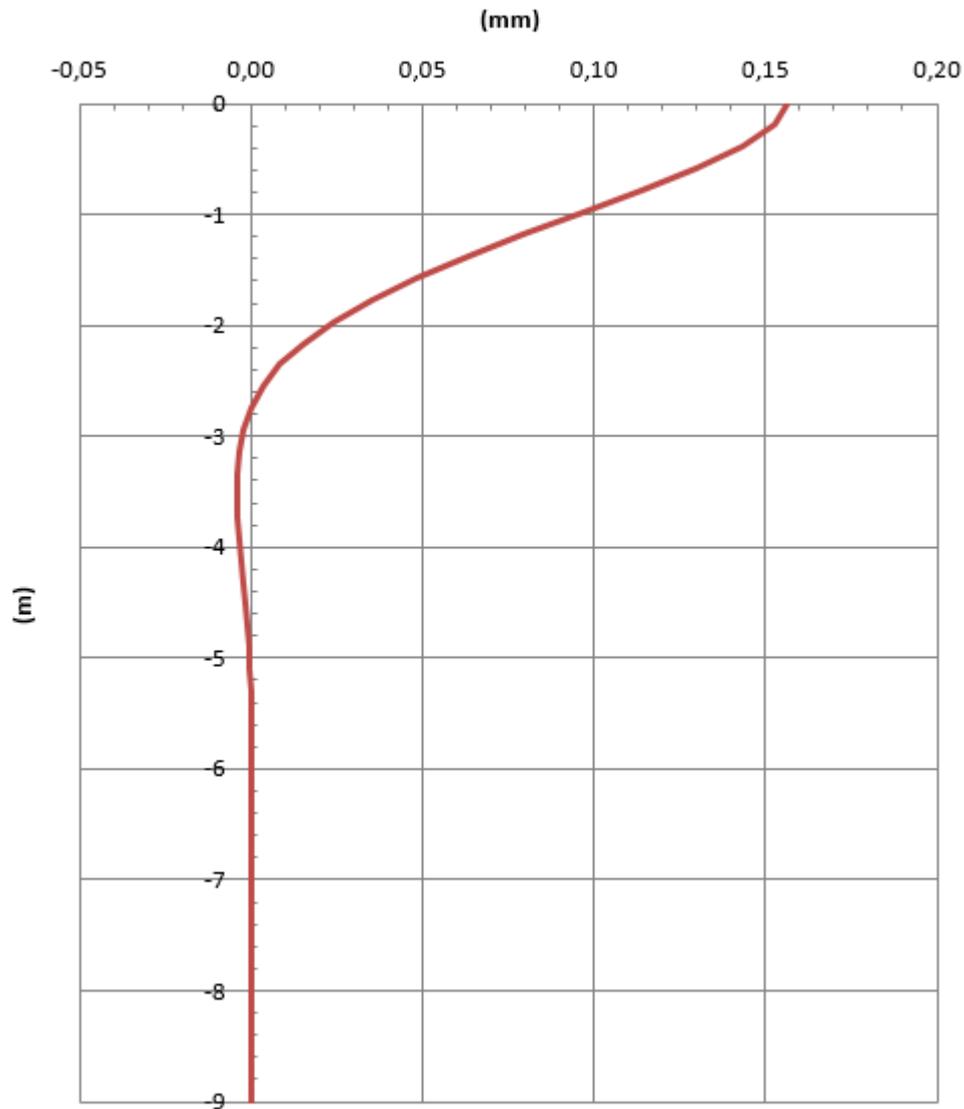
Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78CL	BA0000 002	A	26 di 53



quote (m)	Unità	n_h (kN/m ³)
0.00 - 5.50	Ra	7500
5.50 - 9.50	bbc	3000

Spostamenti



Pertanto il valore della rigidezza orizzontale assegnata ai due vincoli elastici disposti secondo le due direzioni principali ortogonali è pari a:

$$K_H = F / s = 1.0 / (0.156 \times 10^{-3}) = 6350 \text{ kN/m} \quad \text{dove: } s = \text{spostamento in testa ai pali}$$

In direzione verticale si assume un valore di rigidezza pari a:

$$K_{ed} = E/D$$

$$D = 225 \text{ mm} \quad \text{Diametro del palo}$$

$$E = 150 \text{ MPa} \quad \text{Modulo edometrico terreno}$$

$$K_{ed} = 0.67 \text{ N/mm}^3$$

$$A_p = 39761 \text{ mm}^2 \quad \text{Area base palo}$$

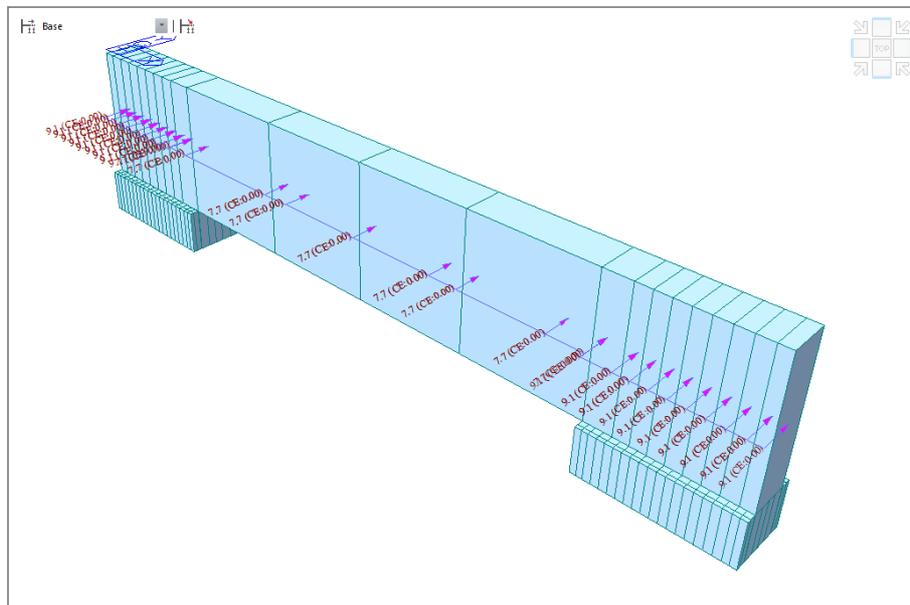
In definitiva si ottiene una rigidezza assiale pari a:

$$K_{assiale} = K_{ed} \cdot A_p = 26507 \text{ kN/m}$$

8.2 Azioni applicate nel modello F.E.M.

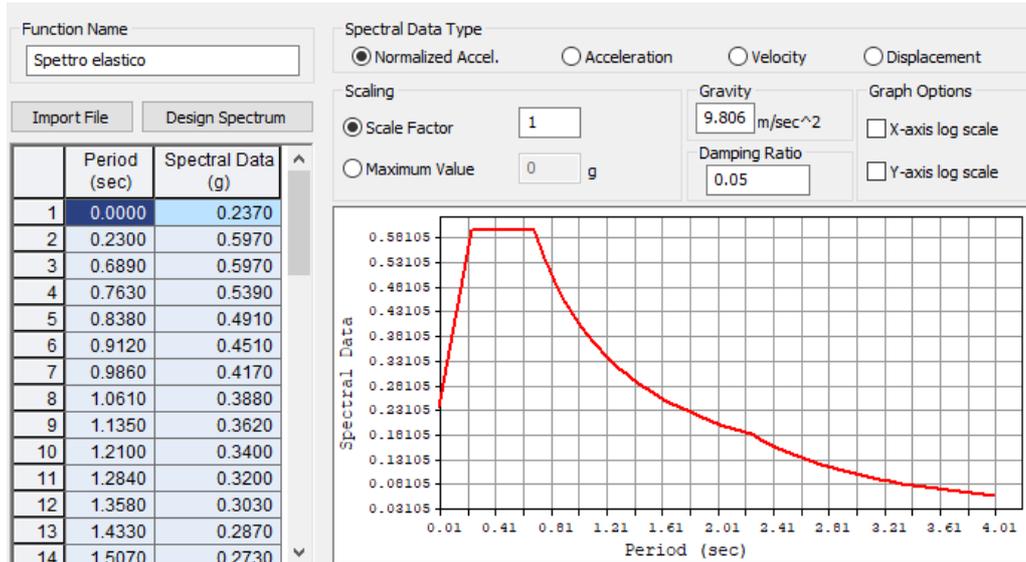
Si riportano di seguito le azioni applicate nel modello di calcolo relativo:

Pressioni agenti sulla trave (baricentro trave)



CARICHI	Vparete	Vapp
	[kN/m]	[kN/m]
W +q _{l,k}	7.67	9.09

Per l'azione sismica si è utilizzato lo spettro di progetto previsto dalla normativa vigente:



9 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Di seguito si riportano i risultati in termini di inviluppo delle sollecitazioni nei diversi elementi costituenti l'opera ottenuti rispettivamente per:

- Le combinazioni di verifica agli SLU-SLV (Env_SLU-SLV).
- Le combinazioni di verifica allo SLE (Env_SLE).

9.1 Sollecitazioni trave Env_SLU-SLV

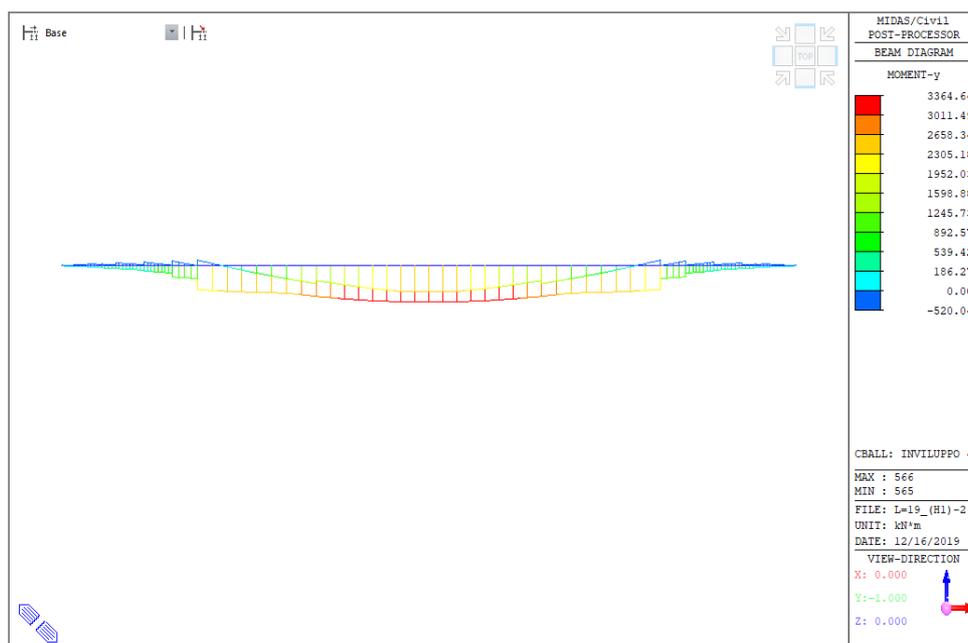


Figura 10 Momento flettente M_y – Inviluppo SLU-SLV

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78CL	BA0000 002	A	30 di 53

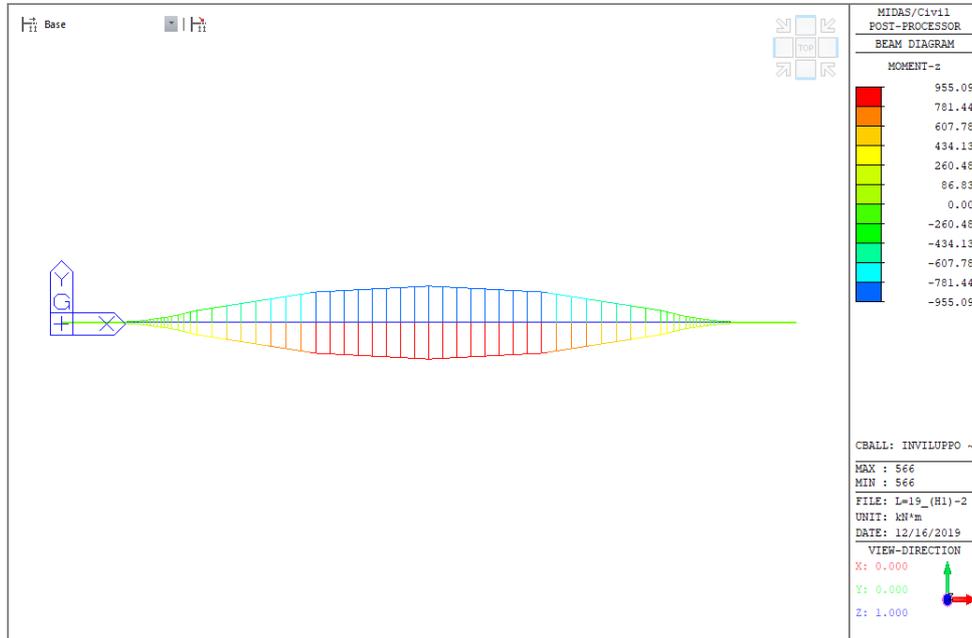


Figura 11 Momento flettente M_z – Involuppo SLU-SLV

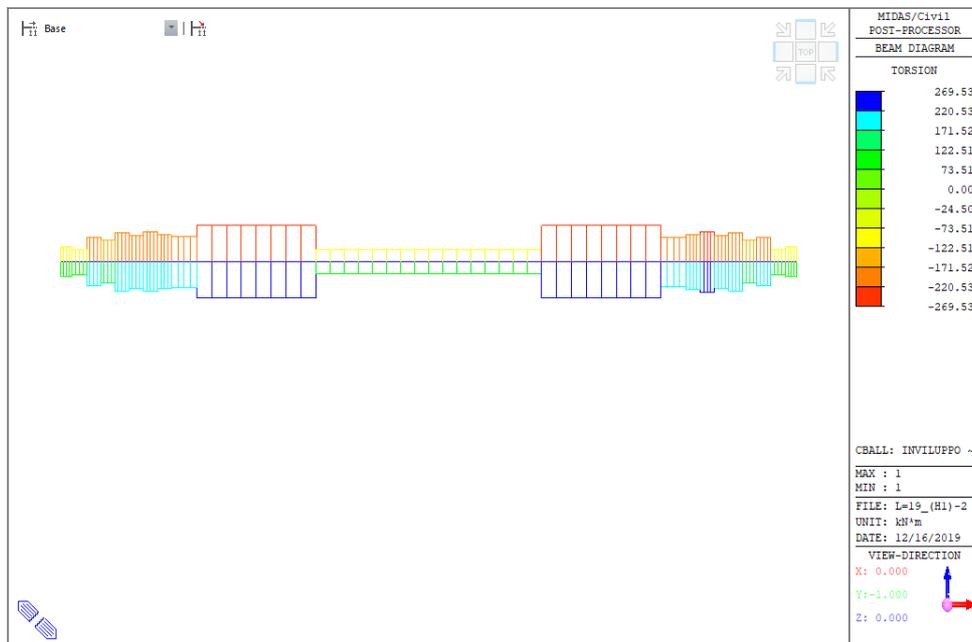


Figura 12 Torsione M_x – Involuppo SLU-SLV

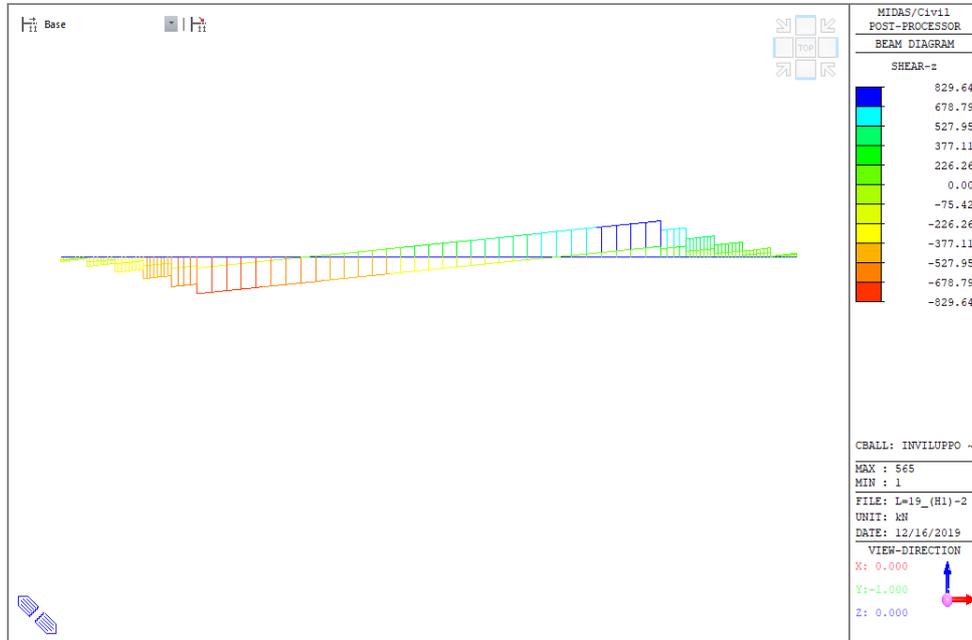


Figura 13 Taglio Vz – Inviluppo SLU-SLV

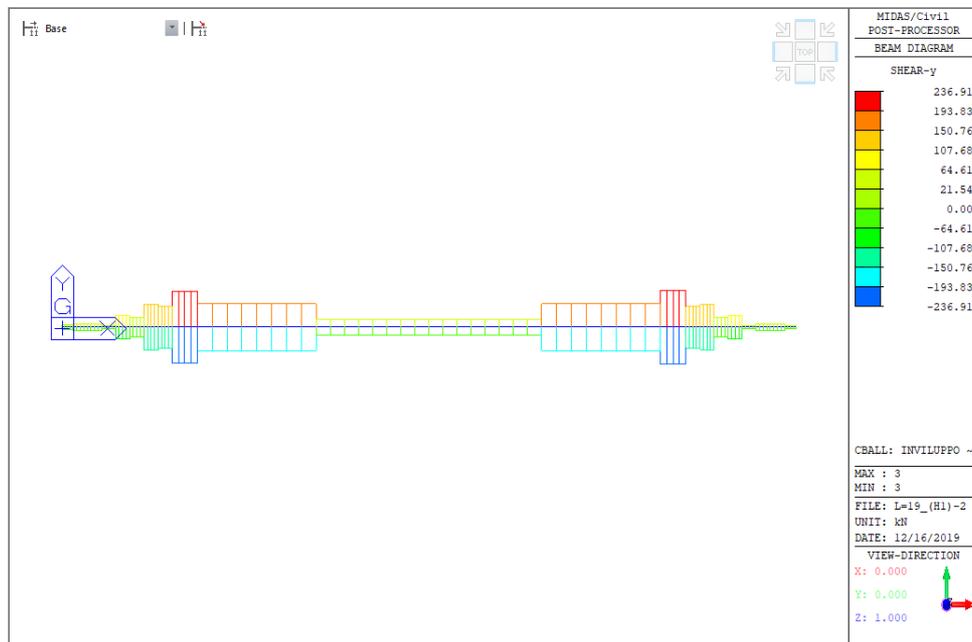


Figura 14 Taglio orizzontale Vy – Inviluppo SLU-SLV

9.2 Sollecitazioni Trave Env_SLE

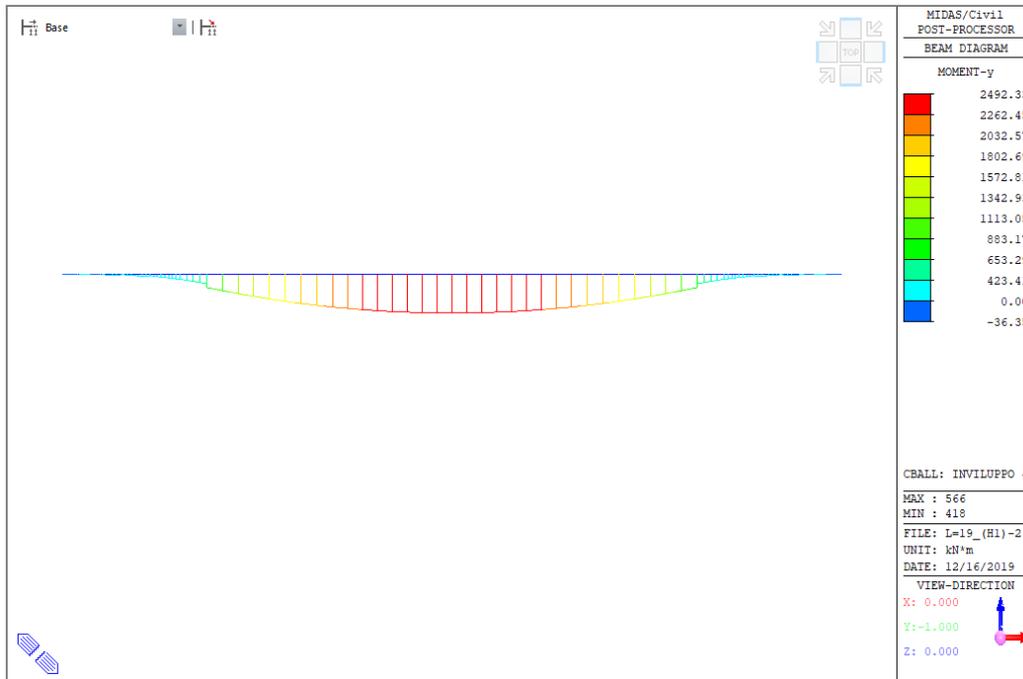


Figura 15 Momento flettente M_y – Inviluppo SLE

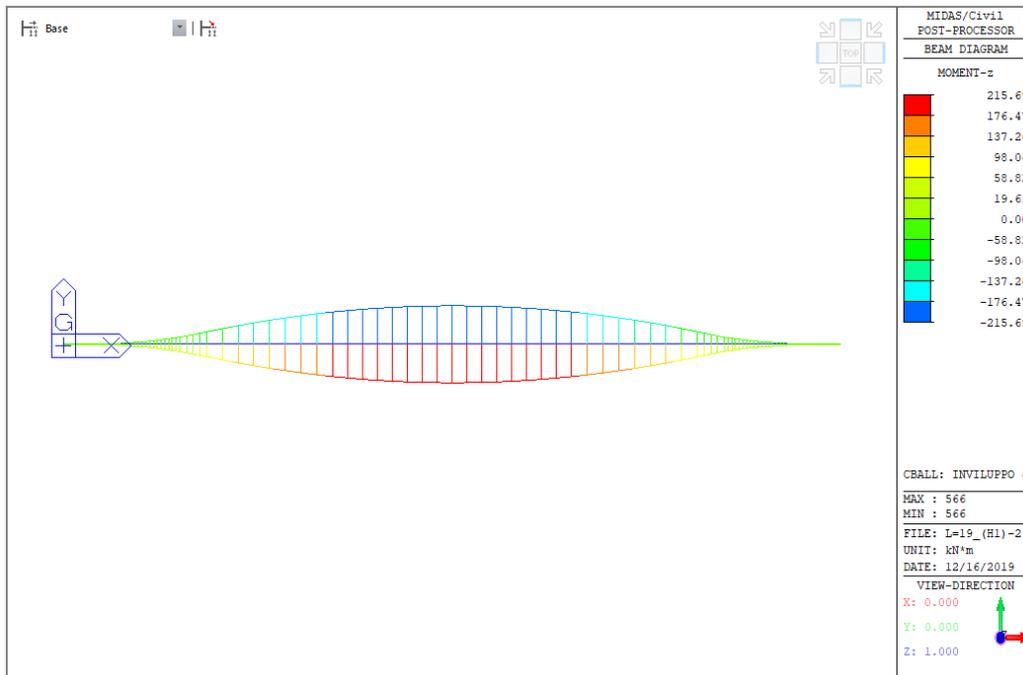


Figura 16 Momento flettente M_z – Inviluppo SLE

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

9.3 Reazione nei pali

Di seguito si riportano le reazioni nei pali in termini di inviluppo allo SLV-SLU.

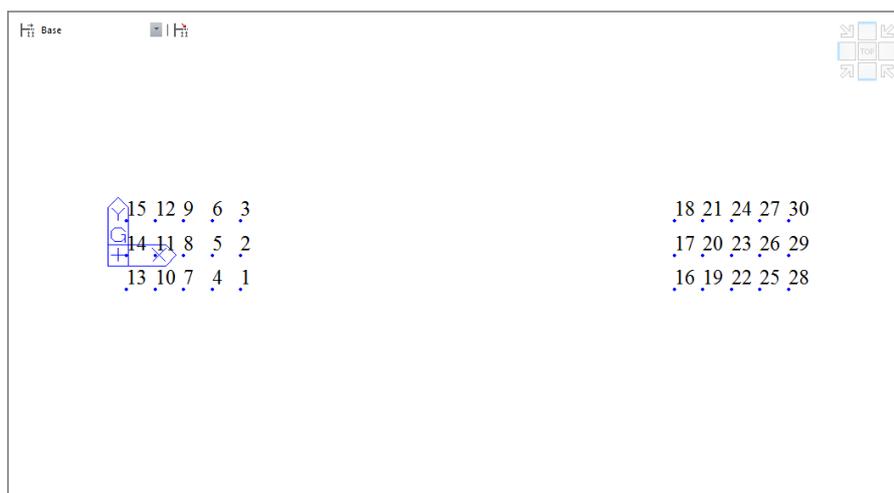


Figura 17 Reazione pali – Inviluppo SLU-SLV

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
1	INVILUPPO TOT(all)	43.321	30.563	396.778
2	INVILUPPO TOT(all)	42.883	30.531	105.312
3	INVILUPPO TOT(all)	43.321	-30.563	396.778
4	INVILUPPO TOT(all)	43.324	28.169	395.086
5	INVILUPPO TOT(all)	42.853	28.145	101.789
6	INVILUPPO TOT(all)	43.324	-28.169	395.086
7	INVILUPPO TOT(all)	43.309	25.749	393.268
8	INVILUPPO TOT(all)	42.826	25.725	98.321
9	INVILUPPO TOT(all)	43.309	-25.749	393.268
10	INVILUPPO TOT(all)	43.286	23.301	391.486
11	INVILUPPO TOT(all)	42.797	23.278	94.908
12	INVILUPPO TOT(all)	43.286	-23.301	391.486
13	INVILUPPO TOT(all)	43.258	20.831	389.741
14	INVILUPPO TOT(all)	42.773	20.805	92.619
15	INVILUPPO TOT(all)	43.258	-20.831	389.741
16	INVILUPPO TOT(all)	-43.322	30.563	396.779
17	INVILUPPO TOT(all)	-42.883	30.530	105.312
18	INVILUPPO TOT(all)	-43.322	-30.563	396.779
19	INVILUPPO TOT(all)	-43.324	28.169	395.087
20	INVILUPPO TOT(all)	-42.853	28.145	101.789
21	INVILUPPO TOT(all)	-43.324	-28.169	395.087
22	INVILUPPO TOT(all)	-43.309	25.749	393.269
23	INVILUPPO TOT(all)	-42.826	25.726	98.321
24	INVILUPPO TOT(all)	-43.309	-25.749	393.269
25	INVILUPPO TOT(all)	-43.286	23.301	391.486
26	INVILUPPO TOT(all)	-42.797	23.278	94.908
27	INVILUPPO TOT(all)	-43.286	-23.301	391.486
28	INVILUPPO TOT(all)	-43.258	20.832	389.741
29	INVILUPPO TOT(all)	-42.773	20.805	92.619
30	INVILUPPO TOT(all)	-43.258	-20.832	389.741

10 RISULTATI VERIFICHE

10.1 Verifiche di resistenza della trave di scavalco

Di seguito sono riportate le verifiche a flessione deviata, taglio e torsione della trave-parete avente base pari a 100 cm e altezza pari a 350 cm.

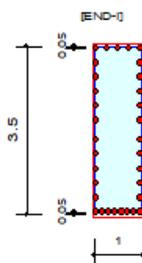
GEOMETRIA DELLA SEZIONE		MATERIALI		
Base sezione: b	1000 mm	CALCESTRUZZO	Classe cls	C 32/40
Altezza sezione: h	3500 mm	f _{ck}	32 MPa	
Copriferro: c	50 mm	f _{cd}	18.13 MPa	
Area sezione trasversale: A _{tot}	3500000 mm ²	γ _c	1.5	
Perimetro sezione trasversale: P _{est}	9000 mm	ACCIAIO	B 450 C	
Spessore parete equivalente cava: t	388.89 mm	f _{yk}	450	
Area parete equivalente A _k	1901234.57 mm ²	f _{yd}	391.30 MPa	
Perimetro medio area parete: u _k	7444.44 mm	γ _s	1.15	
DATI ARMATURA				
ARMATURA LONGITUDINALE		ARMATURA TRASVERSALE		
Diametro armatura tesa d1:	24 mm	Diametro armatura a taglio (// alla sezione):	14 mm	
N° barre tese n1:	8	Passo armatura a taglio (Estremità/mezzeria):	100/200 mm	
Diametro armatura compressa d2:	24 mm	N° bracci delle staffe:	2	
N° barre compresse n2:	5	Inclinazione staffe α:	90°	
Armatura di parete	20 φ 14	Inclinazione puntone J:	45°	

10.1.1 Verifiche a flessione deviata

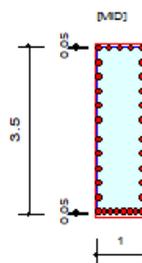
1. Design Information

Design Code : Eurocode2-2:05
 Unit System : kN, m
 Material Data : f_{ck} = 32000, f_{yk} = 450000, f_{yw} = 450000 KPa
 Beam Span : 12.975 m
 Section Property : trave-parete (No : 1)

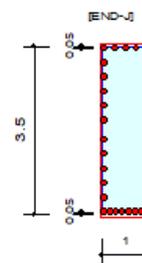
2. Section Diagram



TOP1 : 5-P24, 2-P14, 2-P14, 2-P14, 2-P14,
 TOP2 :
 TOP1 : 2-P14,
 TOP2 :
 BOT1 : 8-P24, 2-P14, 2-P14, 2-P14, 2-P14,
 BOT2 :
 BOT1 : 2-P14,
 BOT2 :
 STIRRUPS : 2.0-P14 @100



TOP1 : 5-P24, 2-P14, 2-P14, 2-P14, 2-P14,
 TOP2 :
 TOP1 : 2-P14,
 TOP2 :
 BOT1 : 8-P24, 2-P14, 2-P14, 2-P14, 2-P14,
 BOT2 :
 BOT1 : 2-P14,
 BOT2 :
 STIRRUPS : 2.0-P14 @200



TOP1 : 5-P24, 2-P14, 2-P14, 2-P14, 2-P14,
 TOP2 :
 TOP1 : 2-P14,
 TOP2 :
 BOT1 : 8-P24, 2-P14, 2-P14, 2-P14, 2-P14,
 BOT2 :
 BOT1 : 2-P14,
 BOT2 :
 STIRRUPS : 2.0-P14 @100

3. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
Negative Moment (M _{Ed})	446.85	0.00	520.04
(-) Load Combination No.	12	3	12
Factored Strength (M _{Rd})	4513.81	4513.81	4513.81
Check Ratio (M _{Ed} /M _{Rd})	0.0990	0.0000	0.1152
Positive Moment (M _{Ed})	2600.06	3364.64	2862.15
(+) Load Combination No.	1	1	1
Factored Strength (M _{Rd})	6304.08	6304.08	6304.08
Check Ratio (M _{Ed} /M _{Rd})	0.4124	0.5337	0.4540
Using Rebar Top (A _{s_top})	0.0038	0.0038	0.0038
Using Rebar Bot (A _{s_bot})	0.0052	0.0052	0.0052

10.1.1 Verifiche a taglio, torsione e a taglio torsione

Di seguito si riporta la verifica combinata a torsione e la verifica combinata taglio-torsione eseguita in accordo con il DM 14/01/2008, considerando il contributo del taglio orizzontale e verticale.

VERIFICA A TORSIONE				
AZIONI		RESISTENZA A TORSIONE		
N _{Ed} :	0 kN	RESISTENZA BIELLA DI CLS :	$T_{Rcd} = 2 \cdot d \cdot A_k \cdot t \cdot f_{cd} \cdot (\cotg\theta) / (1 + \cotg2\theta)$	1870.35 kN
T :	269.5 kNm	RESISTENZA ARMATURE TRASVERSALI :	$T_{Rsd} = 2 \cdot A_k \cdot (A_s/s) \cdot f_{yd} \cdot \cotg\theta$	2290.48 kNm
γ_{Rd}	1.0	RESISTENZA ARMATURE LONGITUDINALI:	$T_{Rid} = 2 \cdot A_k \cdot (\sum A_i \cdot f_{yd}) / (u_k \cdot \cotg\theta)$	1067.45 kNm
T _{Ed} = T* γ_{Rd} :	314.2 kNm		$T_{Rd} = \min(T_{Rsd}, T_{Rcd}, T_{Rid}) > T_{Ed}$	1067.45 kNm
F.S.		0.25		SEZIONE VERIFICATA

VERIFICA A TAGLIO E A TAGLIO-TORSIONE				F.S.
V _{Edv} :	829.64 kN	V _{Rdv} :	9351.74 kN	0.09
V _{Edo} :	236.91 kN	V _{Rdo} :	2575.12 kN	0.09
T _{Ed} :	314.20 kNm	T _{Rcd} :	1870.35 kNm	
$V_{Edv}/V_{Rdv} + V_{Edo}/V_{Rdo} + T_{Ed}/T_{Rd}$		0.32		
SEZIONE VERIFICATA				

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

10.1.2 Verifiche agli SLE

Di seguito si riporta lo stato tensionale e la valutazione dell'apertura delle fessure.

3. Stress Check

	END-I		MID		END-J	
	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar
(+) Load Combination No.	6	6	6	6	6	6
Stress(s)	890.40	8988.73	1152.24	11631.97	980.16	9894.79
Allowable Stress(sa)	3023.81	315000.00	3023.81	315000.00	3023.81	315000.00
Stress Ratio(s/sa)	0.2945	0.0285	0.3811	0.0369	0.3241	0.0314

7. Crack Control

	END-I	MID	END-J
(+) Load Combination No.	9	9	9
Crack Width(w)	0.000	0.000	0.000
Allowable Crack Width(wa)	0.000	0.000	0.000
Check Ratio(w/wa)	0.0995	0.1287	0.1095

5. Deflection Control

$L/51 = 0.051900 > 0.0004$ (LCB:6, POS: 6.5m from END-I)..... O.K

10.2 Verifiche dei plinti di fondazione

Per la verifica del plinto si considera uno schema di mensola tozza ipotizzando l'instaurarsi di un meccanismo tirante/puntone. Il soddisfacimento di tale verifica è possibile assicurarla se:

$$P_R \geq P_{Ed}$$

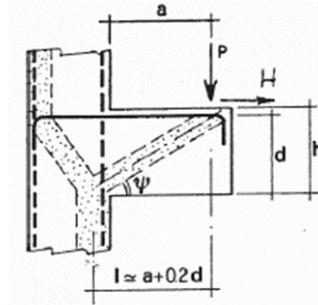
in cui:

- P_{Ed} : è la sollecitazione agente in testa al singolo palo;
- P_R : è la resistenza del meccanismo tirante/puntone posta pari alla resistenza dell'armatura P_{Rs}

con $\lambda = \text{ctg}\Psi \approx l/0,9d$ (vedi figura sottostante).

Dovrà inoltre risultare una resistenza P_{Rc} del puntone di calcestruzzo non minore di quella dell'armatura:

con $c=1$ per sbalzi di piastre non provvisti di staffatura e $c=1,5$ per sbalzi di travi provvisti di staffatura.



Dati di progetto

$b(m) =$	0.75	m	dimensione trasversale di verifica mensola
$N_{Ed} (KN) =$	397	KN	Sforzo normale massimo pali
$H_{Ed} (KN) =$	43.3	KN	Carico complessivo orizzontale sulla fascia di dimensione b
$a (m) =$	0.0	m	distanza P da incastro (asse palo-filo esterno trave di scavalco)
$h(m) =$	1.15	m	spessore mensola
$d(m) =$	0.05	m	copriferro riferito al baricentro delle armature compressive in trazione
$d(m) =$	1.10	m	altezza utile
$l(m) =$	0.22	m	$a+0,2d$
$\lambda =$	0.22		

Tipo di mensola (Valutazione coefficiente c)

$c(m) = 1.00$

sblazi di piastre (no staffatura)

Caratteristiche Materiali

$f_{cd} =$	18.8	MPa	Calcestruzzo
$f_{yd} =$	391.3	MPa	Acciaio

ARMATURA LONGITUDINALE DIR Y (trasversali al plinto)

Diametro armatura tesa d1:	16 mm
Passo armatura tesa:	15 cm
Diametro armatura compressa d2:	16 mm
Passo armatura compressa:	15 cm

Verifiche di resistenza

$\psi =$	1.352	rad	=	77.47
$P_{Rs} =$	1575.4	KN		$P_{Rs} > P_{Ed}$ - Verifica Soddisfatta
$P_{Rc} =$	5916.2	KN		$P_{Rc} > P_{Rs}$ - Verifica Soddisfatta

In direzione longitudinale al plinto (direz. X) si adottano $\phi 16/40$ sia superiormente che inferiormente.

10.2.1 Verifica a punzonamento dei plinti di fondazione

La verifica a punzonamento fa riferimento all'Eurocodice 2, sezione 6.4.

La sezione di base per la verifica è costituita dalla superficie laterale del cilindro di altezza pari all'altezza utile d del cordolo e il raggio uguale a quello del palo aumentato di $2d$.

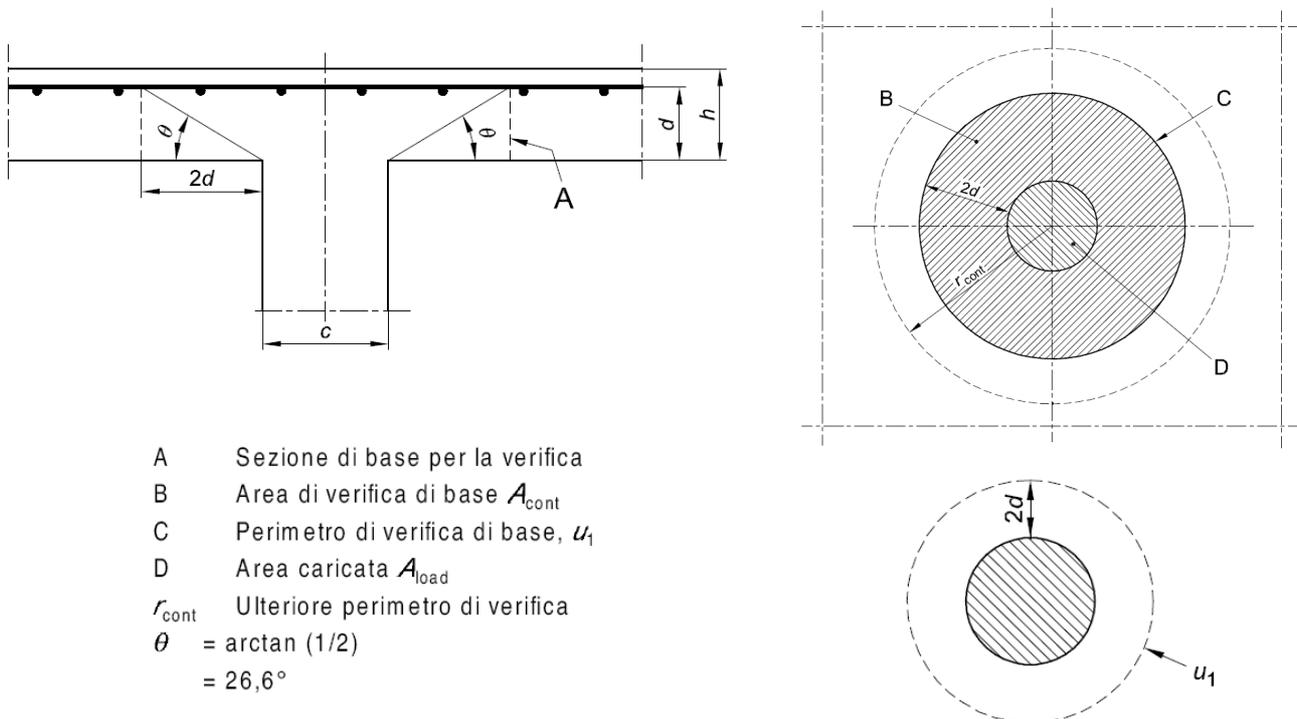


Figura 10-1 – Modello di verifica a punzonamento allo stato limite ultimo

(Par. 6.4.3 - "Calcolo del taglio-punzonamento")

$v_{Rd,c}$ è il valore di progetto del taglio-punzonamento resistente di una piastra, priva di armature per il taglio punzonamento lungo la sezione di verifica considerata.

$v_{Rd,cs}$ è il valore di progetto del taglio-punzonamento resistente di una piastra dotata di armature per il taglio punzonamento, lungo la sezione di verifica considerata.

$v_{Rd,max}$ è il valore di progetto del massimo taglio-punzonamento resistente lungo la sezione di verifica .

VERIFICHE RACCOMANDATE

6.4.3 (2) - (a); (b); (c)

(b) L'armatura per il taglio-punzonamento non è necessaria se: $v_{Ed} < v_{Rd,c}$

(c) Se $v_{Ed} > v_{Rd,c}$ per la sezione di verifica considerata, si raccomanda che sia disposta l'armatura per il taglio-punzonamento (determinando $v_{Rd,cs}$), lungo la sezione di verifica considerata.

(a) lungo il perimetro del pilastro, o il perimetro dell'area caricata, si raccomanda che la massima tensione di taglio-punzonamento non sia superata: $v_{Ed} < v_{Rd,max}$

Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78CL	BA0000 002	A	39 di 53

V_{Ed}	396779.4	N	Taglio sollecitante	
B_y	225	mm	Dimensione Pilastro in y	
B_z	225	mm	Dimensione Pilastro in Z	
s	1150	mm	Spessore piastre	
c	50	mm	Copriferro medio	
d	1100	mm	Altezza utile della sezione	$d=s-c$
e_y	0.0	m	Eccentricità in y	M_z/V_{Ed}
e_z	0.0	m	Eccentricità in z	M_y/V_{Ed}
f_{ck}	40	N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica	
f_{yk}	450	N/mm ²	Resistenza snervamento armatura	
γ_c	1.5		Coefficiente di sicurezza verifiche c.a	
β	1.4			1.4 bordo; 1.15 interno
ϕ_{ly}	16.0	mm	Diametro barre longitudinali In y	
i_y	150	mm	Interasse barre in y	
ϕ_{lz}	16	mm	Diametro barre longitudinali In z	
i_z	400	mm	Interasse barre in z	
u_1	14530	mm	Perimetro di verifica a distanza 2d	
v_{Ed}	0.033	N/mm ²		$v_{Ed}=\beta \cdot V_{Ed}/(u_1 \cdot d)$
ρ_{ly}	1.22E-03		Rapporto geometrico di armatura in y	$\rho_{ly}=\phi_{ly}^2 \cdot \pi / (4 \cdot i_y \cdot d)$
ρ_{lz}	4.57E-04		Rapporto geometrico di armatura in z	$\rho_{lz}=\phi_{lz}^2 \cdot \pi / (4 \cdot i_z \cdot d)$
ρ_l	7.46E-03		Rapporto geometrico medio di armatura	$\rho_l=\min \{0.02; (\rho_{ly} \cdot \rho_{lz})^{0.5}\}$
k	1.43	mm	coefficiente di ingranamento degli inerti	$k=\min \{2; 1+(200/d)^{0.5}\}$
v_{min}	0.377	N/mm ²	taglio resistente minimo	$v_{min}=0.035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2}$
v_1	0.246	N/mm ²	taglio resistente di calcolo	$v_1=0.18/\gamma_c \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}$
$v_{Rd,c}$	0.377	N/mm ²	taglio resistente	$v_{Rd,c}=\max \{v_1; v_{min}\}$
$V_{Ed}/v_{Rd,c}$	0.09			Verificato

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

10.3 Verifiche dei micropali di fondazione

I micropali in progetto, sia per le fondazioni su rilevato che per le fondazioni delle opere di scavalco hanno uguali caratteristiche. In particolare, sono stati adottati micropali di lunghezza pari a 9.0 m, con diametro $\phi 250$ e armati con tubolare $\phi 168.3$ s8 mm. Nel seguito sono riportate le verifiche strutturali e geotecniche sulla base delle sollecitazioni riportate al paragrafo 9.3.

10.3.1 Verifiche di portanza verticale

La fondazione è in grado di sopportare il carico di progetto con un adeguato margine di sicurezza nei confronti dello stato limite se $F_{c,d} \leq R_{c,d}$ dove $F_{c,d}$ è il carico assiale di progetto e $R_{c,d}$ è la capacità portante di progetto allo stato limite ultimo del micropalo per carichi assiali.

I valori della tensione di adesione di progetto possono essere ricavati come $\tau_{sd} = \tau_{sk}/\gamma_s$:

Il valore caratteristico della resistenza deve essere determinato come:

$$\tau_{sk} = \min \left\{ \frac{\tau_{s,media}}{\xi_3}; \frac{\tau_{s,min}}{\xi_4} \right\}$$

ξ_3 e ξ_4 dipendono dal numero di verticali indagate n secondo la tabella 6.4.IV delle NTC 2008 e di seguito riportata.

Tabella 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

I valori di resistenza medi da introdurre nel calcolo sono ricavati con il metodo messo a punto dall' "École Nationale des Ponts et Chaussées" da Bustamante e Doix, recepito nella gran parte delle normative e linee guida in Europa e negli Stati Uniti (FHWA) e basato sulla conoscenza dei valori del parametro N_{SPT} e/o p_L (pressione laterale limite) dei terreni attraversati. I micropali vengono distinti in due categorie:

- micropali eseguiti con iniezioni ripetute e controllate con tubo a valvole e doppio otturatore (**IRS**, injection repetitive et selective). Appartengono a tale gruppo i micropali da adottare per le barriere antirumore;
- micropali eseguiti con getto dell'intero palo in un'unica soluzione (**IGU**, injection globale unique).

Il metodo si avvale, per la capacità portante ultima della relazione:

$$Q_{lim} = Q_l + Q_p$$

Q_l : portata laterale limite: $Q_l = \pi D_{si} L_s s$

- $D_{si} = \alpha D_s$ diametro maggiorato per effetto della tecnologia;
- D_s = diametro di perforazione;
- L_s = lunghezza della zona iniettata;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

- α = coefficiente adimensionale che tiene conto della tecnica di esecuzione dei micropali e del tipo di terreno (vedi tabella A).
- s = portata laterale unitaria stabilita in funzione del valore N_{SPT} o p_L . È ricavabile tramite i grafici messi a punto dall' "École Nationale des Ponts et Chaussées" in base a numerose prove di carico a rottura (267) per vari tipi di terreno e per le due tecniche di realizzazione del micropalo. Tali grafici vengono riportati alle pagine seguenti nelle figure I, II, III e IV.

Q_{pl} : portata alla punta ultima. Dato l'alto rapporto esistente fra superficie laterale portante e superficie della punta del palo, normalmente, per i micropali, si considera un valore della portata alla punta pari al 10%-15% della portata laterale. Nel caso in esame viene trascurata a vantaggio di sicurezza.

La peculiarità del calcolo per un micropalo consiste nella scelta di D_s e nella determinazione di s e di L_s .

In ogni caso, visto che il tratto iniettato del micropalo raggiunge la superficie del terreno, si raccomanda che, per i primi 5 metri, esso venga al massimo considerato in ogni caso del tipo IGU. La lunghezza L_s , depurata di tale tratto, deve comunque essere pari ad almeno 4 metri.

La capacità portante verticale si calcolerà pertanto per integrazione dei valori di Q_1 trovati per il tratto di tipo IGU e per quello di tipo IRS:

Capacità portante di fusto : $Q_1 = \sum_i \pi \cdot D_{si} \cdot s_i \cdot l_{si}$

Si riportano di seguito i diagrammi necessari per ricavare il valore di s in funzione del tipo di terreno e delle sue caratteristiche di resistenza nonché dalla tecnica di realizzazione del micropalo.

Terreno	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata
	IRS	IGU	
Ghiaia	1,8	1,3 - 1,4	1,5 V_s
Ghiaia sabbiosa	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4	1,5 V_s
Sabbia ghiaiosa	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3	1,5 V_s
Sabbia grossa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 V_s
Sabbia media	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 V_s
Sabbia fine	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 V_s
Sabbia limosa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	IRS: (1,5 - 2) V_s ; IGU: 1,5 V_s
Limo	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2	IRS: 2 V_s ; IGU: 1,5 V_s
Argilla	1,8 - 2,0	1,2	IRS: (2,5 - 3) V_s ; IGU: (1,5-2) V_s
Marne	1,8	1,1 - 1,2	(1,5 - 2) V_s per strati compatti
Calcarei marnosi	1,8	1,1 - 1,2	(2 - 6) V_s o più per strati fratturati
Calcarei alterati o fratturati	1,8	1,1 - 1,2	
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1	(1,1-1,5) V_s per strati poco fratturati 2 V_s o più per strati fratturati

$$V_s = L_p \cdot \frac{\pi D_s^2}{4}$$

Tabella A: Valori del coefficiente α ;

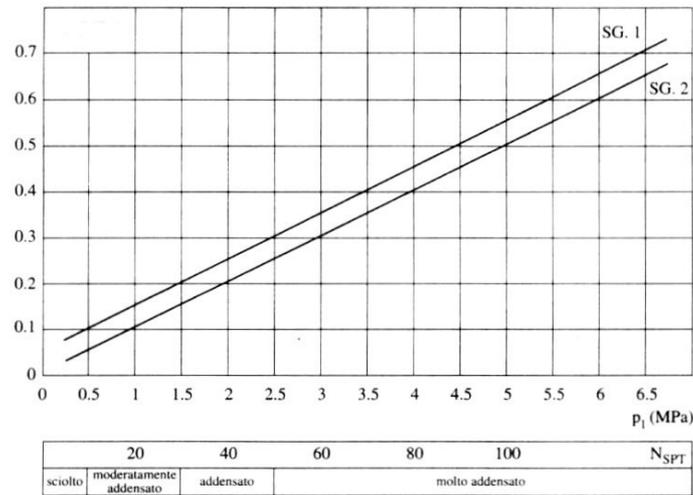


Figura 10-2 - Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie.

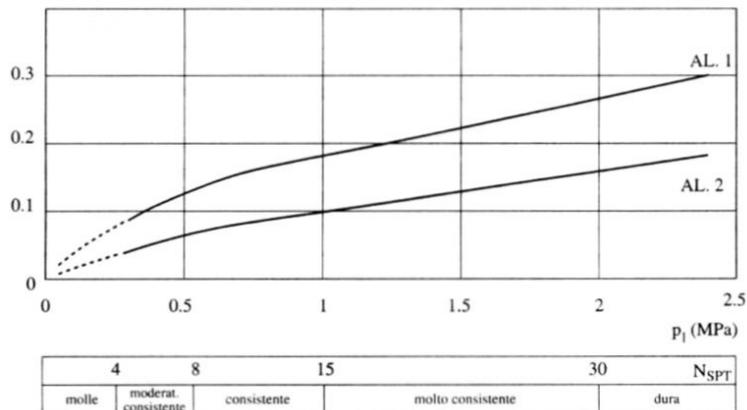


Figura 10-3 - Abaco per il calcolo di s per argille e limi.

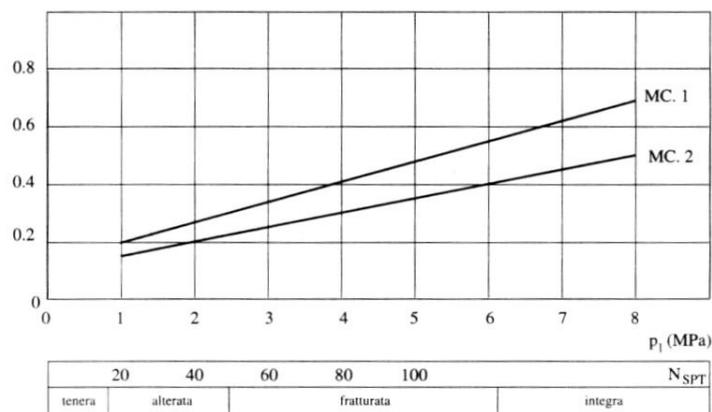


Figura 10-4 - Abaco per il calcolo di s per gessi, marne e marne calcaree.

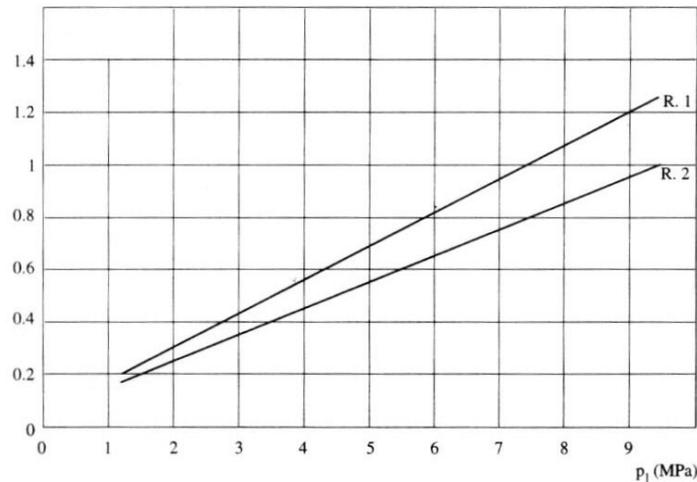


Figura 10-5 - Abaco per il calcolo di s per rocce alterate e fratturate.

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

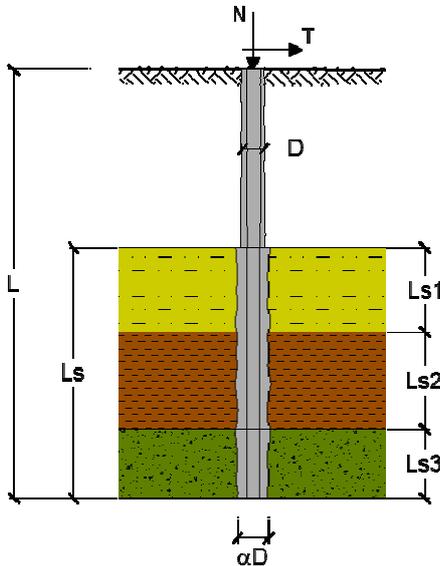
Tabella B: indicazioni per la scelta del valore s

Dalla relazione geotecnica si ottengono i valori di N_{spt} degli strati di sabbia e argilla necessari per utilizzare gli abachi di B.&D., da cui si ottengono i valori delle tensioni tangenziali (s) da utilizzare nelle verifiche geotecniche a carico limite verticale.

Conservativamente non si considerano i primi due metri di infissione del micropalo, mentre per i successivi tre metri si considera il micropalo con sistema IGU e per la lunghezza successiva si considera il sistema IRS.

La stratigrafia e i parametri di progetto sono riepilogati nella seguente tabella.

Profondità da piano Campagna z [m]	Unità	Tipologia Iniezione	N_{spt} di calcolo	s [MPa]		α	
				IGU	IRS	IGU	IRS
0 ÷ 2.0	Non considerati nel calcolo						
2.0 ÷ 5.0	Ra	IGU	15	0.08	----	1.20	----
5.0 ÷ 5.5	Ra	IRS	15	----	0.13	----	1.5
5.5 ÷ 9.0	bbc	IRS	30	----	0.27	----	1.5



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

n	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	DM88	prog.				
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00	1.00
ξ_1	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00	1.00

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): **0.25 (m)**
Lunghezza del micropalo (L): **9.00 (m)**

Unità	Spessore	profondità	Tipo iniezione	Coeff. α	$D_s = \alpha D$	N_{spt}	s_i	Q_{si}
	[m]	[m]		[-]	[m]	[-]	[MPa]	[kN]
-	0 - 2	2	NON CONSIDERATI					
Ra (sabbie/ghiaie)	2 - 5	3	IGU	1.2	0.27	15	0.08	203.58
Ra (sabbie/ghiaie)	5 - 5.5	0.5	IRS	1.5	0.3375	15	0.13	68.92
bbc (limo sabbioso)	5.5 - 9	3.5	IRS	1.5	0.3375	30	0.27	1001.97

$Q_1 = 1070.89$

Capacità portante di punta

% Punta considerata nei vcalcoli

$Q_p = \%Punta \cdot Q_l$
0%

(consigliato 10-15%)

$Q_p = 0.00$ (kN)

Verifica Geotecnica (comb. A1+M1+R3)

$N_c = 396.8$ kN
 $R_{c,k} = Q_s / \xi_3 = 649.0$ kN
 $F.S. = R_{c,k} / \gamma_{R1} \cdot N_c = 1.42$

Verificato

Nel caso in esame si è assunto cautelativamente $\xi_3 = 1.65$ (corrispondente a 2 verticali di indagine).

10.3.2 Verifica di resistenza armatura micropali

Il carico critico relativo ad instabilità di tipo elastico del micropalo viene calcolata come:

$P_k = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5}$

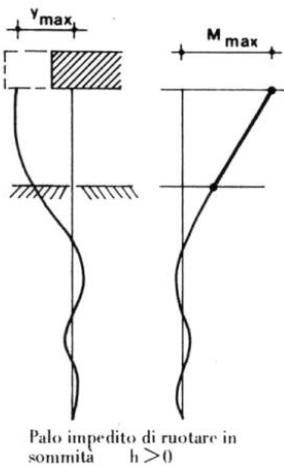
In cui $b = kD_{arm}$ è la reazione laterale per unità di lunghezza e di spostamento (k è il coefficiente di reazione orizzontale di Winkler). Il coefficiente di sicurezza viene assunto pari a:

$\eta = P_k / N$ con $\eta > 10$ dove N è lo sforzo normale agente in testa al palo.

Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78CL	BA0000 002	A	45 di 53

La verifica delle forze orizzontali del micropalo viene svolta considerando il momento agente in testa al palo, ipotizzando che la rotazione della testa del palo sia impedita:



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

$$b = (k \cdot D/4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{1/4}$$

in modo da poter determinare

$s = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$ e $\tau = 2 \cdot T/A_{arm}$ in modo da ricavare la tensione ideale del criterio di rottura Von Mises:

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)^{0.5} \text{ la verifica è soddisfatta se } \sigma_{id} < \sigma_{adm}$$

Nel caso in esame:

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): 0.25 (m)

Lunghezza del micropalo (L): 9.00 (m)

Armatura:

<input type="radio"/> IPE	<input type="radio"/> INP	<input type="radio"/> HEA	<input type="radio"/> HEB	<input type="radio"/> HEM	<input type="radio"/> Tubi	<input checked="" type="radio"/> ALTRO
IPE 180	INP 160	HEA 300	HEB 160	HEM 200	ø168,3 x 8,0	

Φ168.3x12mm

Area dell'armatura (A_{arm}): (mm²) 5892.372

Area a taglio (A_{taglio}): (mm²) 5892.372

Momento di inerzia della sezione di armatura (J_{arm}): (mm⁴) 1.81E+07

Modulo di resistenza della sezione di armatura (W_{arm}): (mm³) 293732.3

Dimensione Armatura (D_{arm}): (mm) 168.3

Tipo di acciaio

Tensione di snervamento dell'acciaio (f_y): 275 (N/mm²)

Coefficiente Parziale Acciaio γ_M: 1.05

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{lim}): 262 (N/mm²)

Modulo di elasticità dell'acciaio (E_{arm}): 210 000 (N/mm²)

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): 300.0 (MN/m³)

Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78CL	BA0000 002	A	46 di 53

Dove:

$$K = k_h = \frac{n_h \cdot Z}{D_{palo}}$$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam.(β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$): **50.49 (N/mm²)**

$$P_k = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5} \quad \eta = P_k / N \quad (\text{consigliato } \eta > 10)$$

$$P_k = 27706.24 \quad (MN) \quad \eta = 69.83$$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

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

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

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

$$b = 1.452 \quad (1/m)$$

Momento Massimo (M):

$$M = 14.92 \quad (kN \cdot m)$$

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 275 (Fe 430)

Tensioni nel singolo micropalo

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

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

$$\sigma_{max} = 118.14 \quad (N/mm^2) \quad \sigma_{min} = 16.53 \quad (N/mm^2)$$

$$\tau = 7.35 \quad (N/mm^2)$$

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0.5}$$

$$\sigma_{id} = 118.83 \quad (N/mm^2) \quad \text{verifica soddisfatta}$$

10.3.1 Verifiche cedimenti micropali (SLE)

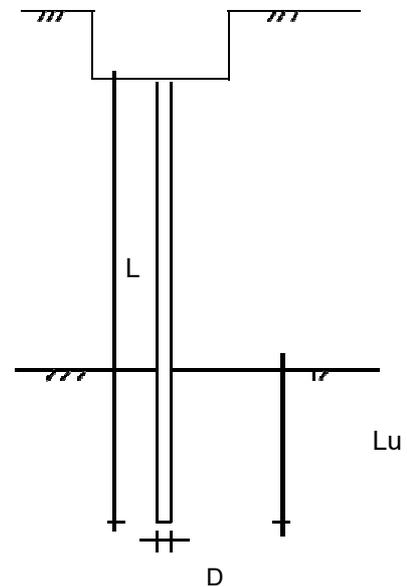
I cedimenti sono ricavati facendo riferimento alla formula di Poulos e Davis:

$$\delta = \frac{\beta \cdot P_{\max}}{E \cdot L_u}$$

in cui $\beta = 0.5 + \text{Log}(L_{\text{utile}}/D)$, P_{\max} è il carico massimo a cui è sottoposto il micropalo, E è il modulo di deformazione in cui è ammorzato il micropalo e L_u è la lunghezza utile.

DATI DI IMPUT:

Diametro del Palo (D):	0.225	(m)
Carico massimo sul palo (Pmax):	238.7	(kN)
Lunghezza del Palo (L):	9.00	(m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu):	7.00	(m)
Modulo di Deformazione (E):	150000	(kN/m ²)



CEDIMENTO DEL MICROPALO SINGOLO:

$$\delta = \beta \cdot P_{\max} / E \cdot L_u$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{\text{utile}} / D): \quad 1.99 \quad (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta \cdot P_{\max} / E \cdot L_u \quad 0.45 \quad (\text{mm})$$

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m				
COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A	FOGLIO 48 di 53

10.3.2 Verifica a carico limite orizzontale: palo singolo

La verifica a forze orizzontali viene eseguita secondo la teoria di Broms. Tale teoria considera le seguenti ipotesi semplificative:

- terreno omogeneo
- comportamento dell'interfaccia palo-terreno di tipo rigido-perfettamente-plastico
- forma del palo è ininfluyente, interazione palo-terreno determinata solo dalla dimensione caratteristica Φ della sezione del palo;
- il palo ha comportamento rigido-perfettamente plastico, il palo ha solo moti rigidi finché non si raggiunge il momento di plasticizzazione M_y .

La rotazione della testa dei pali è impedita dal plinto di fondazione.

I meccanismi di rottura del complesso palo-terreno sono condizionati della lunghezza del palo, dal momento di plasticizzazione della sezione e dalla resistenza esercitata dal terreno. I possibili meccanismi sono riportati in Figura 7-8 e sono indicati come “palo corto” (non si raggiunge il momento di plasticizzazione nel palo), “palo intermedio” (si raggiunge il momento di plasticizzazione nel palo all’attacco tra palo e cordolo), “palo lungo” (il momento di plasticizzazione viene raggiunto anche in una sezione intermedia del palo).

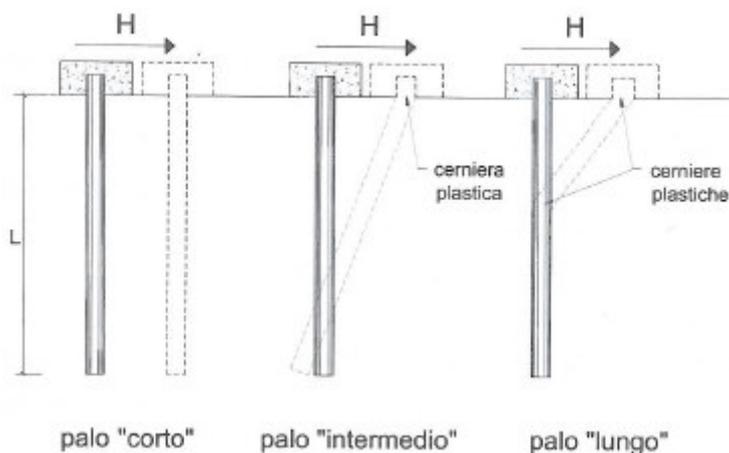


Figura 10-6: Meccanismi di rottura del palo

Le verifiche sono eseguite in condizioni drenate e si assume che la resistenza opposta alla traslazione del palo vari linearmente con la profondità:

$$p = 3 \cdot k_p \cdot \gamma \cdot z \cdot d$$

Dove:

k_p è il coefficiente di spinta passiva

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m				
COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A	FOGLIO 49 di 53

z è la profondità dal piano campagna

g è il peso per unità di volume del terreno.

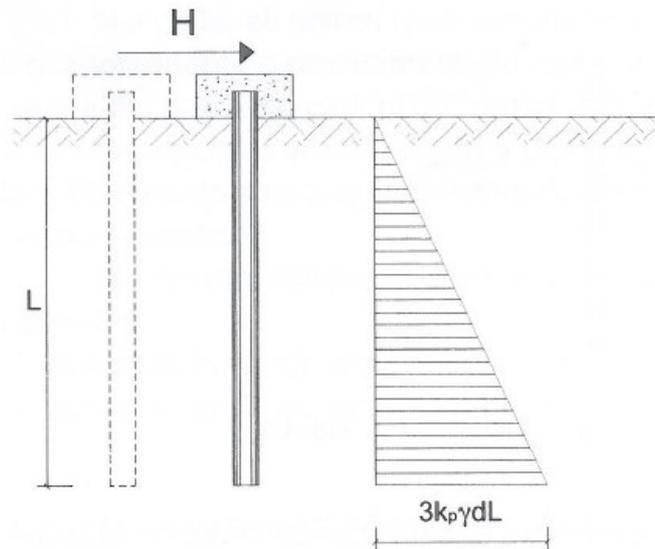


Figura 10-7: Andamento della resistenza alla traslazione del palo

I valori di carico limite corrispondenti ai diversi meccanismi di rottura sono:

palo corto $H = 1,5 k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$

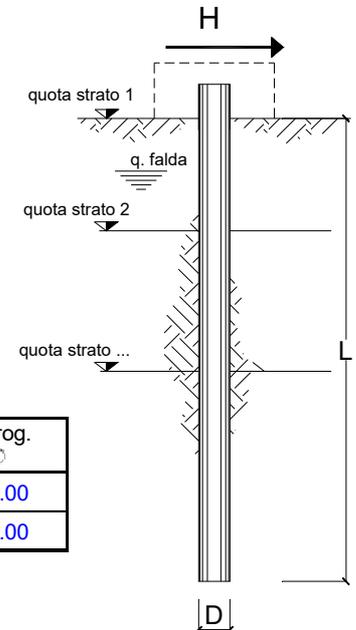
palo intermedio $H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$

palo lungo $H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left(3,676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}\right)^2}$

Si riporta la verifica per capacità portante orizzontale dei micropali:

opera

coefficienti parziali		Metodo di calcolo		A		M		R
		permanenti	variabili	$\gamma_{\phi'}$	γ_{cu}			γ_T
		γ_G	γ_Q					
SLU	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	1.00	1.00	1.60	
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30	
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	
DM88		<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
definiti dal progettista		<input checked="" type="radio"/>	1.00	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

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						k_p	c_u (kPa)	ϕ (°)	k_p	c_u (kPa)
p.c.=strato 1	R	100.00	20	10	35	3.69		35	3.69	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	bbc	94.50	19.5	10	25	2.46		25	2.46	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	bbi	90.50	19.5	10	38	4.20		39	4.40	

Quota falda 93 (m) (ovvero a circa 7 m dal P.C.locale)

Diametro del palo D 0.225 (m)

Lunghezza del palo L 9.00 (m)

Momento di plasticizzazione palo My 113.62 (kNm)

Step di calcolo 0.05 (m)

- palo impedito di ruotare
 palo libero

Calcolo
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	140.5 (kN)		140.5 (kN)	
Palo intermedio	487.9 (kN)		487.9 (kN)	
Palo corto	1560.8 (kN)		1560.8 (kN)	
	H_{med} 140.5 (kN)	Palo lungo	H_{min} 140.5 (kN)	Palo lungo

$$H_k = \text{Min}(H_{\text{med}}/x_3 ; R_{\text{min}}/x_4) \quad 85.16 \quad (\text{kN})$$

$$H_d = H_k/g_T \quad 65.51 \quad (\text{kN})$$

$$\text{Carico Assiale Permanente (G):} \quad G = 43.32 \quad (\text{kN})$$

$$\text{Carico Assiale variabile (Q):} \quad Q = \quad (\text{kN})$$

$$F_d = G \cdot g_G + Q \cdot g_Q = 43.32 \quad (\text{kN})$$

$$FS = H_d / F_d = 1.51$$

— M. Mancina, R. Nori, P. Iasiello - Progetti e Calcoli di Geotecnica con Excel vol.2 - ed. DEI—

Per tener conto dell'effetto gruppo dei pali nei confronti del carico limite orizzontale si considera un coefficiente riduttivo di 0.8 pertanto:

$$FS_{\text{gruppo}} = 0.8 \times 1.51 = 1.208$$

La verifica è pertanto soddisfatta.

Calcolo del momento di plasticizzazione di un micropalo

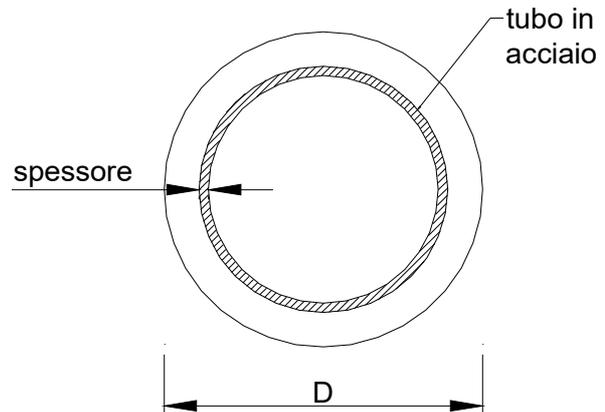
Diametro = 225 (mm)

Tubo

Diametro esterno = 168.3 (mm)

Spessore = 12.0 (mm)

Sforzo Normale = 295 (kN)



Caratteristiche dei Materiali

malta

Rck = 35 (Mpa)

fck = 28 (Mpa)

γ_c = 1.5

α_{cc} = 0.85

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 15.87 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

Acciaio

tipo di acciaio

f_{yk} = 440 (Mpa)

γ_m = 1.15

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m / \gamma_{E,d} = 382.6 \text{ (Mpa)}$

Es = 210000 (Mpa)

ϵ_{ys} = 0.182%

ϵ_{uk} = 1.000%

Calcolo

Momento di Plasticizzazione

My = 113.6 (kN m)

Inserisci

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo opere di scavalco L=19,50 m	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 78CL	DOCUMENTO BA0000 002	REV. A

11 CONCLUSIONI

Dalle verifiche effettuate si può concludere che la struttura risulta rispondere a tutti i requisiti di resistenza e funzionalità previsti allo SLU e SLE, con opportuno margine di sicurezza.

L'analisi critica dei risultati e dei parametri di controllo associata al confronto con verifiche di massima eseguite manualmente porta a confermare la validità dei risultati.

Dovrà essere posta attenzione alle effettive misure dello stato di fatto in modo da posizionare la struttura in oggetto in maniera conforme alle indicazioni di progetto.

La struttura a collaudo dovrà essere conforme alle tolleranze dimensionali prescritte nella presente relazione, inoltre relativamente alle prestazioni attese esse dovranno essere quelle di cui al § 9 del D.M. 14.01.2008

Ai fini della verifica delle prestazioni il collaudatore farà riferimento ai valori di tensioni, deformazioni e spostamenti desumibili dalla presente relazione.

Dai calcoli eseguiti si determinano le seguenti caratteristiche delle fondazioni:

Tabella 3: Tabella riepilogativa caratteristiche fondazione scavalco

Micropali	Plinto di fondazione		
15 Φ 225, armatura 168.3/12 – L=9.0m S 275 classe acciaio tubo armatura	Dimensioni: 3.60m x 1.50m	Armatura long.: Φ 16/40cm	Armatura trasv.: Φ 16/15cm