

S.S. 398 "Via Val di Cornia"
Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12
e il Porto di Piombino
LOTTO 1 - Svincolo di Geodetica-Gagno

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **FI2**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:
Dott. Ing. David Carlaccini
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A1245

IL GEOLOGO:
Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

IL R.U.P.
Dott. Ing. Antonio Scalamandrè

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

MARZO 2019

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

 Sintagma

 GEOTECHNICAL DESIGN GROUP

 ICARIA società di ingegneria

Dott.Ing. N.Granieri
Dott.Arch. N.Kamenicky
Dott.Ing. V.Truffini
Dott.Arch. A.Bracchini
Dott.Ing. F.Durastanti
Dott.Geol. G.Cerquiglini
Geom. S.Scopetta
Dott.Ing. L.Sbrenna
Dott.Ing. E.Sellari
Dott.Ing. E.Bartolucci
Dott.Ing. L.Dinelli
Dott.Ing. L.Nani
Dott.Ing. F.Pambianco
Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlaccini
Dott. Ing. S.Sacconi
Dott. Ing. G.Cordua
Dott. Ing. V.De Gori
Dott. Ing. C.Consorti
Dott. Ing. F.Dominici

Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. F.Macchioni
Geom. C.Vischini
Dott. Ing. V.Piunno
Dott. Ing. G.Pulli
Geom. C.Sugaroni

INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PERUGIA
Sezione A
ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PERUGIA
DOTT. INGEGNERE
NANDO GRANIERI
SETTORE CIVILE E AMBIENTALE
SETTORE INDUSTRIALE
SETTORE DELL'INFORMAZIONE

ORDINE degli INGEGNERI
INGEGNERE
David
CARLACCINI
Settore Ambientale A 1245
Provincia di TERNI

OPERE D'ARTE MAGGIORI
CAVALCAVIA SVINCOLO DI GEODETICA
Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T00-CV01-GET-RE01

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

DPFI12 E 1801

CODICE ELAB.

T00CV01GETRE01

A

-

A

Emissione

29/03/2019

C.Consorti

D.Carlaccini

N.Granieri

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI	4
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	5
4	MODELLO GEOTECNICO.....	6
5	CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI PROFONDE	8
2.1	VERIFICHE DI STATO LIMITE ULTIMO (SLU).....	8
5.1.1	Resistenza nei confronti dei carichi assiali	11
5.1.2	Resistenza nei confronti dei carichi trasversali	12
2.2	VERIFICHE DI STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	13
5.1.3	Comportamento dei pali sottoposti a carico assiale - cedimenti (SLE).....	13
5.1.4	Comportamento dei pali sottoposti a carico trasversale (SLE).....	14
3	SOLLECITAZIONI AGENTI SUI PALI DI FONDAZIONE	15
3.1	SPALLE – SP1 E SP2	15
3.2	PILE P1 – P2 – P3 – P4	16
4	RISULTATI DELLE VERIFICHE SLU E SLE.....	19
4.1	VERIFICHE DI CAPACITA' PORTANTE NEI CONFRONTI DEI CARICHI ASSIALI (SLU)	19
4.2	VERIFICHE DI RESISTENZA NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI (SLU).....	22
4.3	COMPORAMENTO DEI PALI SOLLECITATI ASSIALMENTE - CEDIMENTI (SLE).....	23
4.4	COMPORAMENTO DEI PALI SOLLECITATI TRASVERSALMENTE (SLE)	24
5	SINTESI DELLE LUNGHEZZE DEI PALI DI FONDAZIONE	24
	ALLEGATO A - CARICO LIMITE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI ASSIALI	25

ALLEGATO B - CARICO LIMITE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI	31
ALLEGATO C - COMPORTAMENTO SLE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI ASSIALI.....	32
ALLEGATO D - COMPORTAMENTO SLE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI	38

1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo riguarda il dimensionamento e la verifica dei pali di fondazione delle pile e delle spalle del Cavalcavia Svincolo di Geodetica lungo la SP40, rientrante nell'ambito del Lotto 1 della S.S. 398 "Via Val di Cornia", Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12 ed il porto di Piombino.

Il cavalcavia in oggetto presenta un impalcato continuo di luce $32.4+3 \times 46+32.4$ m, per un totale di 202.80 m, intesa come distanza tra gli assi appoggi delle due spalle.

Le spalle sono di tipo a mensola con muri laterali, le pile con sezione piena e le fondazioni di tipo indiretto su pali di grande diametro $D = 1.2$ m.

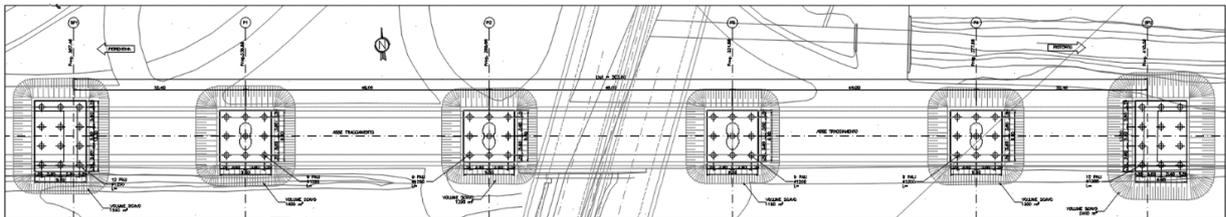


Figura 1: Pianta fondazioni.

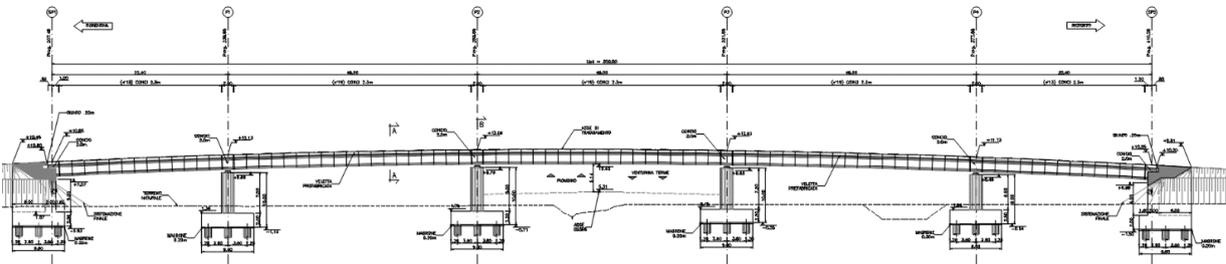


Figura 2: Profilo longitudinale.

2 RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI

Nel progetto è stato fatto riferimento alle seguenti Normative ed Istruzioni:

- D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (pubblicato sulla G.U. n. 42 – Suppl. Ordinario n. 8 – del 20 febbraio 2018).
- Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/03/1988 – "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."
- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 30483 del 24/09/1988 – D.M. 11.3.88. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

È previsto l'impiego dei materiali di seguito descritti. Per maggiori informazioni si rinvia all'elaborato specifico.

CALCESTRUZZO PER SOTTOSTRUTTURE

Classe di resistenza calcestruzzo	C32/40			
caratteristiche del calcestruzzo				
resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	40	[MPa]	
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	33.2	[MPa]	
resistenza cilindrica media	f_{cm}	41.2	[MPa]	
resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	3.1	[MPa]	
resistenza caratteristica a trazione (fratt. 5%)	f_{ctk}	2.2	[MPa]	
modulo elastico istantaneo	E_{cm}	33,643	[MPa]	
Resistenze di calcolo				COEFFICIENTI
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	18.8	[MPa]	$\gamma_c = 1.5$
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.4	[MPa]	$\alpha_{cc} = 0.85$
Coefficiente di espansione termica lineare	α	1.00E-05	[°C ⁻¹]	

ACCIAIO PER ARMATURA LENTA

Tipo di acciaio	B450C			
tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450	[MPa]	
tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	540	[MPa]	
Resistenze di calcolo				COEFFICIENTI
Resistenza di progetto	f_{yd}	391.3	[MPa]	$\gamma_s = 1.15$
Modulo elastico	E_s	200000	[MPa]	

Per il calcestruzzo armato si assume: $\gamma_{cls} = 25 \text{ KN/m}^3$

4 MODELLO GEOTECNICO

Per quello che concerne la caratterizzazione geotecnica dell'area, si fa riferimento a quanto riportato all'interno della relazione geotecnica ed al profilo geotecnico (vedi figura seguente), ai quali si rimanda per maggiori dettagli. L'opera occupa un'area caratterizzata superficialmente da terreni di natura antropica al di sotto dei quali sono presenti le unità geotecniche caratteristiche dell'intera area oggetto dell'intervento. Nello specifico, le fondazioni di tipo profondo si sviluppano, a partire da una quota inferiore a quella di base dei riporti, all'interno delle formazioni alluvionali identificate dalle unità Ug2 (terreni a prevalente grana fine) ed Ug3a (terreni a prevalente grana grossa) e si intestano nella formazione litoide di base di natura arenacea (*bedrock*: Ug4a).

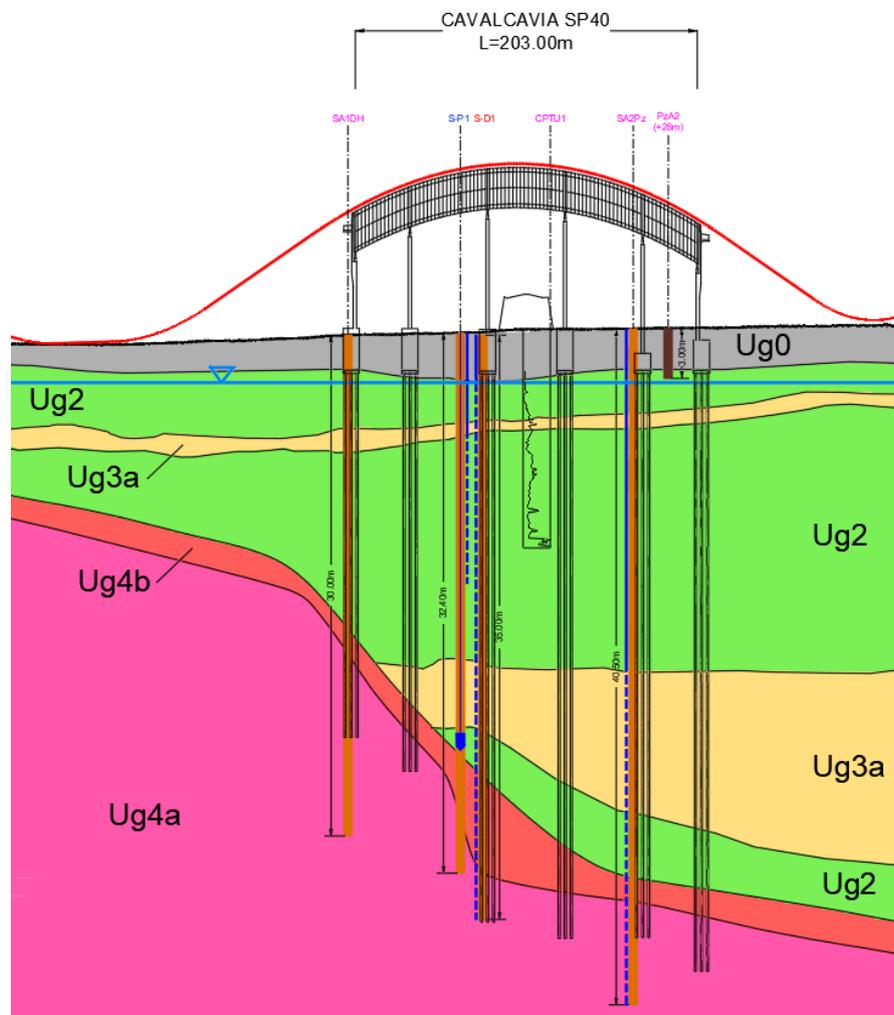


Figura 3: Cavalcavia CV01 - SP40: profilo geotecnico.

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri geotecnici d'interesse ai fini del dimensionamento e delle verifiche delle fondazioni.

Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	c_k' [kPa]	ϕ_k' [°]	c_{uk}' [kPa]	q_u [MPa]	E' [MPa]
Ug0	18.5	-	35	-	-	15
Ug2	(17) 19.5	25	24	(37.5) 75	-	15
Ug3a	20.0	0	32	-	-	20
Ug4a	26.0	50	38	-	42	100
Ug4b	20.0	20	30	-	0	25

Tabella 1: CV01 – Sintesi modello geotecnico di calcolo.

Per l'unità geotecnica Ug2 presente nei primi metri, sono stati assunti valori delle caratteristiche fisiche e meccaniche più bassi ($\gamma = 17$ kN/m³, $c_u = 37.5$ kPa), ipotizzando che la porzione più superficiale di tale unità risulti più scadente.

La quota della falda, individuata a 0 m slm, nei calcoli è stata assunta coincidente con la quota di testa dei pali.

5 CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI PROFONDE

Nel presente capitolo vengono illustrati i criteri di calcolo adottati per la valutazione del comportamento delle fondazioni su pali trivellati di grande diametro.

La scelta tipologica e il dimensionamento delle fondazioni delle opere d'arte sono stati effettuati a valle della caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni in corrispondenza dei quali è prevista l'opera.

In particolare, sia per le spalle che per le pile sono state previste fondazioni profonde costituite da pali trivellati di diametro D e lunghezza L come di seguito descritto:

- Spalla Sp1 : 12 pali, D = 1.2 m, L = 22 m;
- Pila P1 : 9 pali, D = 1.2 m, L = 24 m;
- Pila P2 : 9 pali, D = 1.2 m, L = 33 m;
- Pila P3 : 9 pali, D = 1.2 m, L = 34 m;
- Pila P4 : 9 pali, D = 1.2 m, L = 34 m;
- Spalla Sp2 : 12 pali, D = 1.2 m, L = 36 m.

La descrizione di dettaglio delle geometrie delle opere di fondazione è riportata nelle relazioni strutturali e negli elaborati grafici specifici.

Al fine di sostenere il terreno dei primi metri di riporto, costituiti parzialmente da residui di altoforno, i pali verranno realizzati con l'impiego di un tubo di rivestimento metallico provvisorio, da infiggere, fino alla profondità di 6 m dalla testa dei pali, e recuperare mediante attrezzatura vibrante. Per il sostegno dello scavo è previsto comunque l'impiego di fanghi/polimeri.

Di seguito si illustrano i criteri di calcolo adottati e i risultati delle verifiche geotecniche delle fondazioni in termini di SLU e di SLE.

Nelle analisi il plinto di fondazione e la sovrastruttura verranno considerati come un blocco infinitamente rigido; in altre parole gli spostamenti orizzontali e le rotazioni delle teste dei pali sono supposti uguali per tutti i pali.

2.1 VERIFICHE DI STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Il calcolo della capacità portante delle fondazioni è stato eseguito con riferimento ai metodi correntemente in uso e ampiamente sperimentati relativi ai pali di fondazione (si veda in particolare "A.G.I. 1984, Raccomandazioni sui pali di fondazione").

Con riferimento alle prescrizioni delle NTC2018, le verifiche SLU sono state condotte nel rispetto della seguente condizione:

$$E_d < R_d$$

dove E_d indica il valore di progetto delle azioni, o degli effetti delle azioni, e R_d indica il valore di progetto delle resistenze.

Le azioni di progetto, E_d , o, altresì, gli effetti delle azioni, sono valutabili a partire dalle azioni caratteristiche adottando per i coefficienti parziali γ_F i valori specificati nella tabella seguente (Tabella 6.2.I delle NTC2018):

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1} .

Figura 4: Coefficienti parziali per le azioni o l'effetto delle azioni (NTC2018).

Nello specifico, i valori di progetto delle azioni (E_d) sono stati ricavati direttamente dal calcolo strutturale con riferimento alle combinazioni statiche SLU-STR e sismiche SLV.

Le resistenze di progetto, R_d , si determinano a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici di resistenza, divisi per i coefficienti parziali γ_M specificati nella tabella seguente (Tabella 6.2.II delle NTC2018) e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R , specifici per ciascun tipo di opera e verifica.

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_r	γ_γ	1,0	1,0

Figura 5: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (NTC2018).

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

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

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

Figura 6: Coefficienti parziali per le resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali (NTC2018).

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

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

Figura 7: Coefficiente parziali per la resistenza caratteristica a carico trasversale dei pali (NTC18).

Nello specifico, i valori di progetto delle resistenze del palo nei confronti dei carichi assiali (R_d) e trasversali ($R_{T,d}$) sono stati ottenuti a partire dai valori di calcolo delle resistenze limite medie (lungo il fusto, $R_{lat,cal}$, ed alla base, $R_{b,cal}$, nei confronti dei carichi assiali; $R_{T,cal}$, nei confronti dei carichi trasversali) ridotti mediante il fattore di correlazione ξ_3 , funzione del numero di verticali indagate (cfr. Figura 8- tab. 6.4.VI del NTC08), per ottenere i valori caratteristici ($R_{lat,k}$ e $R_{b,k}$, nei confronti dei carichi assiali; $R_{T,k}$, nei confronti dei carichi trasversali) ai quali sono stati infine applicati i coefficienti parziali di sicurezza γ_R (cfr. Figura 6 e Figura 7 - Tab. 6.4.II e Tab. 6.4.VI delle NTC2018).

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

Figura 8: Fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica per le fondazioni su pali (NTC2018).

Per il caso in esame è stato assunto un valore di $\xi_3 = 1.45$.

Nello specifico, le verifiche sono state effettuate utilizzando l'approccio **A1 + M1 + R3**.

5.1.1 Resistenza nei confronti dei carichi assiali

Palo singolo

Il valore di calcolo della resistenza del singolo palo di diametro D e lunghezza L nei confronti dei carichi assiali, R_{cal} , è stato determinato ricorrendo alle seguenti espressioni ("formule statiche", AGI 1984) delle capacità portanti unitarie mobilitate lateralmente, r_{lat} , ed alla base, r_b :

per terreni a grana fine (*calcolo in TT : Tensioni Totali*)

$$r_{lat}(z) = \alpha \cdot c_u(z) \quad ; \quad r_b = N_c \cdot c_u + \sigma_{v0}(z = L)$$

con

$\sigma_{v0}(z)$ = tensione totale verticale alla profondità z ;

$c_u(z)$ = coesione non drenata del terreno alla profondità z ;

α = coefficiente di adesione laterale;

$N_c = 9$ = coefficiente di capacità portante alla base del palo.

per terreni a grana grossa (*calcolo in TE : Tensioni Efficaci*)

$$r_{lat}(z) = k \cdot \sigma'_{v0}(z) \cdot \tan \varphi' \quad ; \quad r_b = N_q \cdot \sigma'_{v0}(\text{per } z = L) \quad , \text{ con}$$

$\sigma'_{v0}(z)$ = tensione efficace verticale alla profondità z ;

φ' = angolo di attrito del terreno;

$k = 1 - \text{sen}(\varphi')$ = coefficiente di spinta laterale (rapporto tra la tensioni efficaci orizzontale e verticale);

N_q = fattore di capacità portante alla base.

Dai valori delle resistenze unitarie, per integrazione lungo la superficie laterale ed alla base, si ottengono i valori globali, corrispondenti ai valori di calcolo delle resistenze limite:

$$R_{lat,cal} = \int_L r_{lat} d(z) \quad R_{b,cal} = (\pi \cdot D^2 / 4) r_b$$

Nei calcoli, la quota della falda è stata assunta alla quota di testa dei pali.

Gruppo di pali

Nel caso di pali in gruppo, per la determinazione della resistenza limite di calcolo del gruppo di pali è stato considerato un fattore di efficienza η , determinato mediante l'espressione di Converse-Labarre.

La verifica allo stato limite ultimo (SLU) dei pali in gruppo è stata condotta considerando lo sforzo normale medio agente sui pali.

5.1.2 Resistenza nei confronti dei carichi trasversali

Le verifiche dei pali nei confronti delle azioni trasversali sono state effettuate utilizzando la teoria di Broms (1964), considerando un meccanismo di rottura a palo lungo incastrato in testa (formazione di due cerniere plastiche).

La resistenza del terreno è stata valutata secondo le seguenti espressioni:

$$p_{inc}(z) = 9 c_u D \quad , \text{ per terreni a grana fine;}$$

$$p_{inc}(z) = 3 K_p \gamma' D z \quad , \text{ per terreni a grana grossa.}$$

dove

D : diametro del palo;

K_p : coefficiente di spinta passiva;

γ' : peso di volume efficace;

c_u = coesione non drenata del terreno.

Imponendo l'equilibrio alla traslazione e alla rotazione intorno alla testa del palo, in funzione anche del momento di plasticizzazione M_y dell'elemento strutturale, viene quindi determinato il valore di calcolo della resistenza limite orizzontale, $R_{T,cal}$.

A partire dal valore di calcolo $R_{T,cal}$, i valori caratteristici, $R_{T,k}$, e di progetto, $R_{T,d}$, della resistenza limite orizzontale sono stato ricavati applicando i coefficienti parziali $\xi = 1.45$ e $\gamma_R = 1.3$.

Alla capacità portante limite nei confronti dei carichi trasversali, $R_{T,d}$, determinata per il singolo palo, infine, è stato applicato un fattore di efficienza η , per tenere conto dell'effetto gruppo.

La quota della falda è stata assunta alla quota di testa dei pali.

2.2 VERIFICHE DI STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Con riferimento allo stato limite ultimo di esercizio (SLE), sono stati determinati i cedimenti verticali e le sollecitazioni e le deformazioni orizzontali nei pali, sottoposti rispettivamente a carichi assiali e trasversali, verificandone la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con le caratteristiche strutturali.

5.1.3 Comportamento dei pali sottoposti a carico assiale - cedimenti (SLE)

La valutazione del cedimento w del singolo palo è stata condotta utilizzando la seguente espressione semplificata:

$$w = \beta \cdot F_{ck} / (E \cdot L) \quad , \text{dove}$$

L = lunghezza del palo;

D = diametro del palo;

F_{ck} = carico caratteristico agente (valore caratteristico del carico assiale, in condizioni SLE)

E = modulo elastico del terreno;

$\beta = 0.5 + \text{Log}(L/D)$ = "coefficiente di influenza", adimensionale, funzione del rapporto L/D e del modello di sottosuolo utilizzato (formulazione proposta da Poulos e Davis, 1981).

Il cedimento medio della palificata, w_g , è stato valutato a partire dal valore del cedimento del palo isolato, w , moltiplicando tale valore per un coefficiente di amplificazione $R_s = n \cdot R_g$, legato alla geometria della fondazione, con n = numero di pali ed R_g ("coefficiente di riduzione del gruppo") ottenuto come segue:

$$R_g = 0.5 / R + 0.13 / R^2 \quad (\text{Mandolini et al., 1997})$$

$$R = (n \cdot i / L)^{0.5} \quad (\text{Randolph e Clancy, 1993, Mandolini, 1994})$$

in cui i = interasse dei pali.

5.1.4 Comportamento dei pali sottoposti a carico trasversale (SLE)

Le distribuzioni con la profondità delle sollecitazioni (taglio e momento flettente) nel singolo palo sottoposto ad un carico trasversale e dei corrispondenti spostamenti orizzontali, sono state determinate schematizzando il palo come una trave su di un letto di molle elastiche.

Essendo z la profondità del piano campagna (o dalla quota di testa palo) e $y(z)$ lo spostamento orizzontale subito dal palo, la reazione orizzontale esercitata sul palo dal terreno è espressa dalla seguente relazione:

$$p(z) = k_h y(z)$$

in cui k_h rappresenta il modulo di reazione orizzontale del terreno ovvero la pressione esercitata dal terreno per uno spostamento unitario (ed ha dimensioni di una forza su una lunghezza al cubo $[F/L^3]$). In queste ipotesi l'equazione differenziale della linea elastica assume la forma:

$$y^{IV}(z) + \frac{k_h D}{EJ_p} y(z) = 0$$

Indicando con λ la lunghezza caratteristica del palo:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{4EJ_p}{k_h D}}$$

l'equazione differenziale può essere scritta nella maniera seguente:

$$y^{IV}(z) + \frac{4}{\lambda^4} y(z) = 0$$

Una volta ottenuta la funzione $y(z)$, possono essere ottenute le seguenti grandezze:

reazione del terreno = $p(z) = k_h y(z)$;

rotazione: $\alpha(z) = \frac{dy}{dz}$;

momento flettente = $M(z) = -EJ_p \frac{d^2 y}{dz^2}$;

taglio: $T(z) = -EJ_p \frac{d^3 y}{dz^3}$.

3 SOLLECITAZIONI AGENTI SUI PALI DI FONDAZIONE

Le azioni assiali e trasversali trasmesse ai singoli pali dai plinti di fondazione sono state determinate, per ogni combinazione, a partire dalle azioni globali trasferite dalla sovrastruttura e determinate alla quota di intradosso dei plinti, applicando il modello di piastra rigida.

Le verifiche sono state quindi condotte con riferimento alle condizioni di carico più gravose.

Nelle figure e nelle tabelle seguenti sono riportati gli schemi planimetrici dei plinti e dei pali di fondazione, comprensivi della convenzione dei segni adottata per le azioni trasferite dalla sovrastruttura, ed i valori delle azioni in fondazione ottenuti dal calcolo strutturale ed i corrispondenti valori significativi sui singoli pali, per le combinazioni di carico più gravose.

3.1 SPALLE – SP1 E SP2

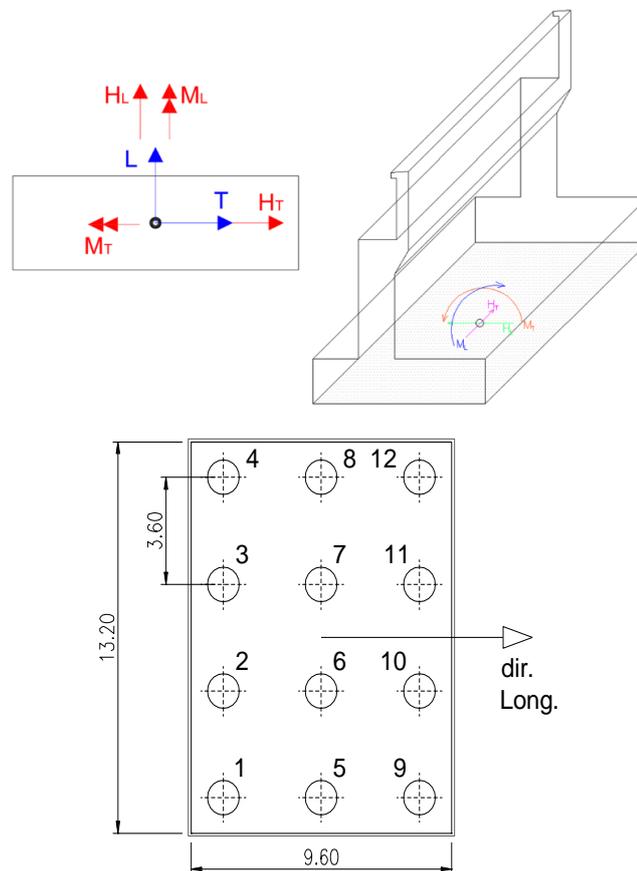


Figura 9: CV01 – SPALLE – pianta plinto e convenzione dei segni delle azioni agenti.

STATO LIMITE DI ESERCIZIO	SPALLE : Sollecitazioni Intradosso plinto (riferite al baricentro della fondazione)	Sollecitazioni sui singoli pali
--------------------------------------	--	--

MANDATARIA



MANDANTE



15 di 39

CV01 – RELAZIONE GEOTECNICA CALCOLO FONDAZIONI

combinazione	N [kN]	V _L [kN]	V _T [kN]	M _L [kNm]	M _T [kNm]	N _{imed} [kN]	N _{imax} [kN]	N _{imin} [kN]	T _{imax} [kN]
1	23735	4542	0	0	13806	1978	2457	1499	379
2	25653	4692	288	4537	19636	2138	2946	1330	392
3	26217	5439	173	2737	18621	2185	2907	1462	453
4	24897	4542	288	3531	16710	2075	2753	1396	379

Tabella 2: CV01 - Spalle : combinazioni di carico SLE

STATO LIMITE ULTIMO	SPALLE : Sollecitazioni Intradosso plinto (riferite al baricentro della fondazione)					Sollecitazioni sui singoli pali			
Combinazione A1 – M1	N [kN]	V _L [kN]	V _T [kN]	M _L [kNm]	M _T [kNm]	N _{imed} [kN]	N _{imax} [kN]	N _{imin} [kN]	T _{imax} [kN]
1	32042	6131	0	0	18638	2670	3317	2023	511
2	34631	6356	432	6423	26664	2886	3990	1782	531
3	35591	7477	259	3873	25425	2966	3956	1976	623
4	33611	6131	432	5064	22559	2801	3725	1877	512

Tabella 3: CV01 - Spalle : combinazioni di carico SLU – A1-M1

3.2 PILE P1 – P2 – P3 – P4

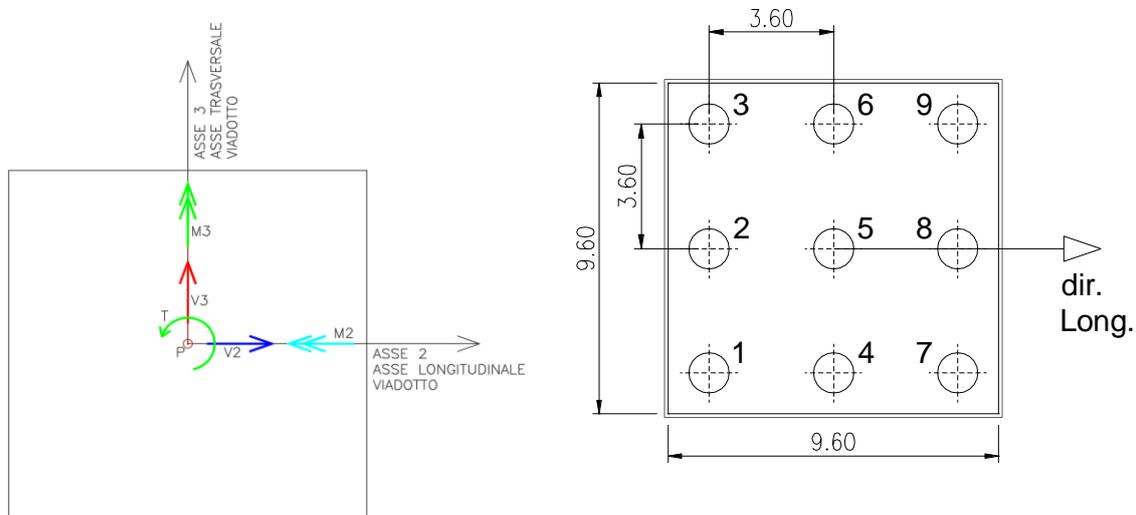


Figura 10: CV01 – PILE – pianta plinto e convenzione dei segni delle azioni agenti.

STATO LIMITE DI ESERCIZIO	PILA 1: Sollecitazioni Intradosso plinto (riferite al baricentro della fondazione)					Sollecitazioni sui singoli pali			
combinazione	P [kN]	V ₂ [kN]	V ₃ [kN]	M ₂ [kNm]	M ₃ [kNm]	N _{imed} [kN]	N _{imax} [kN]	N _{imin} [kN]	T _{imax} [kN]
SLE 1	20100	98	186	7358	757	2233	2609	1419	23

CV01 – RELAZIONE GEOTECNICA CALCOLO FONDAZIONI

SLE 2	20050	90	310	8719	632	2228	2661	1370	36
SLE 4	18505	86	309	6196	604	2056	2371	1506	36

Tabella 4: CV01 – Pila 1 : combinazioni di carico SLE

STATO LIMITE ULTIMO	PILA 1: Sollecitazioni Intradosso plinto (riferite al baricentro della fondazione)					Sollecitazioni sui singoli pali			
	P [kN]	V ₂ [kN]	V ₃ [kN]	M ₂ [kNm]	M ₃ [kNm]	N _{imed} [kN]	N _{imax} [kN]	N _{imin} [kN]	T _{imax} [kN]
SLU 1	18505	86	309	6196	604	2056	2371	1506	36
SLU 3	27079	108	279	10239	803	3009	3520	1921	33
SLU 4	21235	107	279	10239	792	2359	2870	1272	33
SLU 11	16850	632	172	1316	4440	1872	2139	1569	73

Tabella 5: CV01 – Pila 1 : combinazioni di carico SLU

STATO LIMITE DI ESERCIZIO	PILA 2: Sollecitazioni Intradosso plinto (riferite al baricentro della fondazione)					Sollecitazioni sui singoli pali			
	N _{min} [kN]	V ₂ [kN]	V ₃ [kN]	M ₂ [kNm]	M ₃ [kNm]	N _{imed} [kN]	N _{imax} [kN]	N _{imin} [kN]	T _{imax} [kN]
SLE 1	21073	60	222	8653	462	2341	2763	1483	26
SLE 2	21064	71	369	10434	498	2340	2847	1400	42
SLE 4	19403	67	368	7514	461	2156	2525	1558	42

Tabella 6: CV01 – Pila 2 : combinazioni di carico SLE

STATO LIMITE ULTIMO	PILA 2: Sollecitazioni Intradosso plinto (riferite al baricentro della fondazione)					Sollecitazioni sui singoli pali			
	P [kN]	V ₂ [kN]	V ₃ [kN]	M ₂ [kNm]	M ₃ [kNm]	N _{imed} [kN]	N _{imax} [kN]	N _{imin} [kN]	T _{imax} [kN]
SLU 1	28438	31	2	8073	303	3160	3548	2185	3
SLU 3	28438	76	332	12082	561	3160	3745	1987	38
SLU 4	22285	75	332	12082	557	2476	3061	1304	38
SLU 11	17654	633	195	1809	4801	1962	2268	1640	74

Tabella 7: CV01 – Pila 2 : combinazioni di carico SLU

STATO LIMITE DI ESERCIZIO	PILA 3: Sollecitazioni Intradosso plinto (riferite al baricentro della fondazione)					Sollecitazioni sui singoli pali			
	P [kN]	V ₂ [kN]	V ₃ [kN]	M ₂ [kNm]	M ₃ [kNm]	N _{imed} [kN]	N _{imax} [kN]	N _{imin} [kN]	T _{imax} [kN]
SLE 1	21021	59	221	8618	448	2336	2755	1480	25
SLE 2	21012	70	368	10372	480	2335	2837	1398	42
SLE 4	19351	66	367	7447	444	2150	2515	1556	41

Tabella 8: CV01 – Pila 3 : combinazioni di carico SLE

CV01 – RELAZIONE GEOTECNICA CALCOLO FONDAZIONI

STATO LIMITE ULTIMO	PILA 3: Sollecitazioni Intradosso plinto (riferite al baricentro della fondazione)					Sollecitazioni sui singoli pali			
	combinazione	P [kN]	V ₂ [kN]	V ₃ [kN]	M ₂ [kNm]	M ₃ [kNm]	N _{imed} [kN]	N _{imax} [kN]	N _{imin} [kN]
SLU 1	28369	31	2	8084	296	3152	3540	2177	3
SLU 3	28369	74	332	12029	542	3152	3734	1983	38
SLU 4	22233	74	332	12029	539	2470	3052	1301	38
SLU 11	17602	629	194	1775	4697	1956	2255	1641	73

Tabella 9: CV01 – Pila 3 : combinazioni di carico SLU

STATO LIMITE DI ESERCIZIO	PILA 4: Sollecitazioni Intradosso plinto (riferite al baricentro della fondazione)					Sollecitazioni sui singoli pali			
	combinazione	P [kN]	V ₂ [kN]	V ₃ [kN]	M ₂ [kNm]	M ₃ [kNm]	N _{imed} [kN]	N _{imax} [kN]	N _{imin} [kN]
SLE 1	19971	95	185	7298	704	2219	2589	1410	23
SLE 2	19921	86	308	8601	579	2213	2638	1364	36
SLE 4	18377	83	307	6064	552	2042	2348	1500	35

Tabella 10: CV01 – Pila 4 : combinazioni di carico SLE

STATO LIMITE ULTIMO	PILA 4: Sollecitazioni Intradosso plinto (riferite al baricentro della fondazione)					Sollecitazioni sui singoli pali			
	combinazione	P [kN]	V ₂ [kN]	V ₃ [kN]	M ₂ [kNm]	M ₃ [kNm]	N _{imed} [kN]	N _{imax} [kN]	N _{imin} [kN]
SLU 1	26905	71	1	7214	573	2989	3350	2052	8
SLU 3	26905	105	277	10145	742	2989	3493	1909	33
SLU 4	21106	103	277	10145	731	2345	2849	1265	33
SLU 11	16721	630	176	1255	4185	1858	2110	1569	73

Tabella 11: CV01 – Pila 4 : combinazioni di carico SLU

4 RISULTATI DELLE VERIFICHE SLU E SLE

4.1 VERIFICHE DI CAPACITA' PORTANTE NEI CONFRONTI DEI CARICHI ASSIALI (SLU)

Nelle tabelle seguenti sono riportati, per ogni plinto (Spalle e Pile) la stratigrafia di calcolo (con le profondità riferite alla quota di testa dei pali) ed i risultati delle verifiche nei confronti dei carichi assiali, condotte per il singolo palo, con riferimento al valore massimo dell'azione assiale, e per il gruppo di pali, con riferimento al valore massimo dell'azione media assiale sui pali.

Nella valutazione delle azioni di progetto è stato considerato il peso proprio del palo, amplificato per $\gamma_F = 1.3$.

Nel calcolo delle capacità portanti è stato trascurato cautelativamente il contributo dei primi metri di terreno che potrebbero essere costituiti, almeno per la componente argillosa, di materiale più scadente.

Le verifiche sono sempre soddisfatte, risultando $R_d / F_d > 1.0$, per il palo singolo e per i pali in gruppo.

CV01: SPALLA 1	z [m da t.p.]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	c _u [kPa]
	0 ÷ 2.5	Ug2	17	24	-	37.5
	2.5 ÷ 4.0	Ug3a	20	32	0	-
	4.0 ÷ 15.0	Ug2	19.5	-	-	75
	15.0 ÷ 17	Ug4b	20	30	20	-
	> 17	Ug4a	26	38	50	-

Tabella 12: CV01 – Spalla 1 : modello geotecnico di calcolo.

CV01: PILA 1	z [m da t.p.]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	c _u [kPa]
	0 ÷ 1.5	Ug2	17	24	-	37.5
	1.5 ÷ 2.0	Ug3a	20	32	0	-
	2.5 ÷ 16.0	Ug2	19.5	-	-	75
	16.0 ÷ 18.5	Ug3a	20	32	0	-
	18.5 ÷ 20	Ug4b	20	30	20	-
	> 20	Ug4a	26	38	50	-

Tabella 13: CV01 – Pila 1 : modello geotecnico di calcolo.

CV01 – RELAZIONE GEOTECNICA CALCOLO FONDAZIONI

CV01: PILA 2	z [m da t.p.]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	c _u [kPa]
	0 ÷ 1.5	Ug2	17	24	-	37.5
	1.5 ÷ 2.5	Ug3a	20	32	0	-
	2.5 ÷ 16.5	Ug2	19.5	-	-	75
	16.5 ÷ 20.0	Ug3a	20	32	0	-
	20.0 ÷ 24.0	Ug2	19.5	-	-	75
	24.0 ÷ 29.0	Ug4b	20	30	20	-
	> 29	Ug4a	26	38	50	-

Tabella 14: CV01 – Pila 2 : modello geotecnico di calcolo.

CV01: PILA 3	z [m da t.p.]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	c _u [kPa]
	0 ÷ 1.5	Ug2	17	24	-	37.5
	1.5 ÷ 2.5	Ug3a	20	32	0	-
	2.5 ÷ 16.5	Ug2	19.5	-	-	75
	16.5 ÷ 21.0	Ug3a	20	32	0	-
	21.0 ÷ 28.5	Ug2	19.5	-	-	75
	28.5 ÷ 30.0	Ug4b	20	30	20	-
	> 30.0	Ug4a	26	38	50	-

Tabella 15: CV01 – Pila 3 : modello geotecnico di calcolo.

CV01: PILA 4	z [m da t.p.]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	c _u [kPa]
	0 ÷ 1.0	Ug2	17	-	-	0
	1.0 ÷ 2.0	Ug3a	20	32	0	-
	2.0 ÷ 17.0	Ug2	19.5	-	-	75
	17.0 ÷ 25.0	Ug3a	20	32	0	-
	25.0 ÷ 29.0	Ug2	19.5	-	-	75
	29.0 ÷ 30.0	Ug4b	20	30	20	-
	> 30	Ug4a	26	38	50	-

Tabella 16: CV01 – Pila 4 : modello geotecnico di calcolo.

CV01 – RELAZIONE GEOTECNICA CALCOLO FONDAZIONI

CV01: SPALLA 2	z [m da t.p.]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	c _u [kPa]
	0 ÷ 1.5	Ug2	17	24	-	37.5
	1.5 ÷ 2.5	Ug3a	20	32	0	-
	2.5 ÷ 17.0	Ug2	19.5	-	-	75
	17.0 ÷ 27.0	Ug3a	20	32	0	-
	27.0 ÷ 30.0	Ug2	19.5	-	-	75
	30.0 ÷ 32.0	Ug4b	20	30	20	-
	> 30	Ug4a	26	38	50	-

Tabella 17: CV01 – Spalla 2 : modello geotecnico di calcolo.

Opera: CV01	Geometria palificata			Azioni assiali				Verifica singolo palo				Verifica gruppo di pali	
	np	D	L	N _{max}	N _{med}	F _d	F _{d,med}	R _{L,cal}	R _{B,cal}	R _d	R _d / F _d	R' _d = η R _d	R' _d / F _{d,med}
Fondazioni	[-]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[kN]	[-]
SPALLA 1	12	1.2	22	3990	2966	4475	3451	2565	14831	9115	2.0	6471	1.88
PILA 1	9	1.2	24	3520	3009	4049	3538	3075	15485	9755	2.4	7121	2.01
PILA 2	9	1.2	33	3745	3160	4473	3888	5135	19072	12822	2.9	9360	2.41
PILA 3	9	1.2	34	3734	3152	4484	3902	4850	19240	12737	2.8	9298	2.38
PILA 4	9	1.2	34	3493	2989	4243	3739	5390	19605	13248	3.1	9671	2.59
SPALLA 2	12	1.2	36	3990	2966	4784	3760	6228	20315	14113	2.9	10020	2.67

Tabella 18: CV01 – Sintesi verifiche SLU nei confronti dei carichi assiali.

Nella tabella precedente, N_{max} ed N_{med} rappresentano rispettivamente i valori massimo e medio del carico assiale trasferiti dalla struttura in testa ai singoli pali; F_d ed F_{d,med} sono i corrispondenti valori di progetto ottenuti considerando anche il contributo del peso proprio del palo. R_{L,cal}, R_{B,cal} e R_d rappresentano invece i valori di calcolo delle resistenze limite del singolo palo valutate lungo il fusto ed alla base ed il corrispondente valore di progetto della resistenza globale. Infine, R'_d rappresenta il valore di progetto della capacità portante globale del singolo palo, ottenuto considerando un fattore di efficienza η per tenere conto della presenza degli altri pali ("effetto gruppo"): nel caso specifico è stato assunto η = 0.73 per le spalle e η = 0.71 per le pile.

4.2 VERIFICHE DI RESISTENZA NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI (SLU)

Nelle tabelle seguenti sono riportati, per ogni plinto (Spalle e Pile) i risultati delle verifiche nei confronti dei carichi trasversali.

In tabella, $F_{T,d}$ rappresenta il valore di progetto dell'azione trasversale sul singolo palo, assunto pari al valore medio del carico trasversale. M_y è il momento di plasticizzazione del singolo palo. $R_{T,d}$ e $R'_{T,d}$ rappresentano il valore di progetto della resistenza limite del singolo palo nei confronti delle azioni trasversali ed il corrispondente valore ridotto avendo considerato un fattore di efficienza $\eta_H = 0.70$ per tenere conto della presenza degli altri pali ("effetto gruppo").

Le verifiche sono sempre soddisfatte, risultando $R_{T,d} / F_{T,d} > 1.0$.

Opera: CV01	Geometria palificata			Azione trasversale	Verifica gruppo di pali			
	np	D	L		$F_{T,d}$	M_y	$R_{T,d}$	$R'_{T,d} = \eta_H R_{T,d}$
Fondazioni	[-]	[m]	[m]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]
SPALLA 1	12	1.2	22	623	4500	1058	751	1.21
PILA 1	9	1.2	24	73	1500	515	376	5.16
PILA 2	9	1.2	33	76	1500	515	376	4.97
PILA 3	9	1.2	34	75	1500	515	376	5.01
PILA 4	9	1.2	34	73	1500	515	376	5.17
SPALLA 2	12	1.2	36	623	4500	1058	751	1.21

Tabella 19: CV01 – Sintesi verifiche SLU nei confronti dei carichi trasversali.

4.3 COMPORTAMENTO DEI PALI SOLLECITATI ASSIALMENTE - CEDIMENTI (SLE)

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei calcoli dei cedimenti dei pali, considerati come isolati e con riferimento alla palificata, sollecitati a carico assiale in condizioni SLE.

In tabella, $N_{med,max}$ e $N_{med,min}$ rappresentano i valori massimo e minimo dell'azione assiale media in testa ai pali, determinati in condizioni di esercizio. Con riferimento a tali valori sono stati determinati i corrispondenti valori del cedimento del singolo palo, $w_{i,max}$ e $w_{g,min}$, e del gruppo di pali $w_{i,min}$ e $w_{g,min}$.

I valori dei cedimenti delle palificate risultano contenuti, sempre inferiori a 5 cm; ancora più contenuta è la differenza tra i cedimenti minimi (praticamente corrispondenti alle condizioni di solo carico permanente) e quelli massimi nelle condizioni esercizio. Il valore massimo dell'aliquota di cedimento legato all'applicazione dei carichi dovuti ai pesi propri portati ed alle azioni agenti sull'impalcato ovvero successivamente alla realizzazione dell'impalcato, risulta inferiore ad 1 cm ($w_{g,max} - w_{g,min} \leq 6.5$ mm).

Opera: CV01	Geometria palificata					Azioni assiali e cedimenti del singolo palo e della palificata					
	np	D	L	R	Rg	$N_{MED,max}$	$w_{i,max}$	$w_{g,max}$	$N_{MED,min}$	$w_{i,min}$	$w_{g,min}$
Fondazioni	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	[mm]
SPALLA 1	12	1.2	22	1.40	0.42	2185	4.9	24.9	1978	4.4	22.5
PILA 1	9	1.2	24	1.16	0.53	2233	5.0	23.7	1795	4.0	19.0
PILA 2	9	1.2	33	0.99	0.64	2396	5.4	30.8	1905	4.3	24.5
PILA 3	9	1.2	34	0.98	0.65	2336	5.2	30.5	1899	4.3	24.8
PILA 4	9	1.2	34	0.98	0.65	2219	5.0	29.0	1781	4.0	23.3
SPALLA 2	12	1.2	36	1.10	0.56	2185	4.9	33.2	1978	4.4	30.1

Tabella 20: CV01 – Sintesi calcolo dei cedimenti delle fondazioni in condizioni di esercizio SLE.

4.4 COMPORTAMENTO DEI PALI SOLLECITATI TRASVERSALMENTE (SLE)

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei calcoli delle sollecitazioni nei pali sottoposti a carico trasversale, in condizioni di esercizio. In tabella è riportato anche il valore del coefficiente di reazione orizzontale utilizzato nei calcoli, determinato tenendo conto delle caratteristiche dei terreni.

Opera: CV01	Geometria palificata			Coefficiente di reazione orizzontale	Azione trasversale	Verifica gruppo di pali	
	np	D	L			k_h	$F_{T,d}$
Fondazioni	[-]	[m]	[m]	[N/cm ³]	[kN]	[kN]	[kN]
SPALLA 1	12	1.2	22	10	453	453	1300
PILA (Pila 2)	9	1.2	33	10	42	42	124
SPALLA 2	12	1.2	36	10	453	453	1300

Tabella 21: CV01 – Sintesi calcolo delle sollecitazioni nel palo sottoposto a carico trasversale in condizioni SLE.

Le verifiche strutturali dei pali sono riportate nella relazione di calcolo delle sottostrutture.

5 SINTESI DELLE LUNGHEZZE DEI PALI DI FONDAZIONE

Di seguito si riportano i valori delle lunghezze L dei pali di fondazione, di diametro D = 1.2 m, previsti per le Spalle e le Pile del cavalcavia CV01:

Spalla Sp1	L = 22 m
Pila P1	L = 24 m
Pila P2	L = 33 m
Pila P3	L = 34 m
Pila P4	L = 34 m
Spalla Sp2	L = 36 m

Tabella 22: CV01 – Riepilogo lunghezze dei pali di fondazione.

ALLEGATO A - CARICO LIMITE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI ASSIALI

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

CANTIERE: SS398 - Piombino

OPERA:

CV01 - Spalla SP1

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.20 (m) Area del Palo (Ap): 1.131 (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (z_p): 0.00 (m) Quota falda dal p.c. (z_w): 0.00 (m)
 Carico Assiale Permanente (G): 1 (kN) Carico Assiale variabile (Q): (kN)
 Numero di strati 5 L_{palo} = 22.00 (m)

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' _{med} (kPa)	φ' _{med} (°)	C _{u med} (kPa)
1	2.50	Ug2: Argille, poco consistenti	17.00	0.0	0.0	
2	1.50	Ug3: Sabbie limose	20.00	0.0	32.0	
3	11.00	Ug2: Argille consistenti	19.50	25.0	25.0	75.0
4	2.00	UG4b: substrato alterato	20.00	25.0	30.0	
5	5.00	Ug4a: substrato litoide	26.00	50.0	38.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0.00	0.00		
0.47	0.62		
0.58	0.47		0.35
0.50	0.58		
0.38	0.78		

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

RISULTATI

Strato	Spess	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Q _{si} (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)	Q _{si} (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)
1	2.50	Ug2: Argille, poco consistenti	0.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
2	1.50	Ug3: Sabbie limose	41.5					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
3	11.00	Ug2: Argille consistenti	1088.6					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
4	2.00	UG4b: substrato alterato	320.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
5	5.00	Ug4a: substrato litoide	1115.0	43.78	54.76	13113.6	14831.1	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 1.0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base $R_{b;cal med} = 14831.1 \text{ (kN)}$

laterale $R_{s;cal med} = 2565.1 \text{ (kN)}$

totale $R_{c;cal med} = 17396.2 \text{ (kN)}$

CV01 – RELAZIONE GEOTECNICA CALCOLO FONDAZIONI

CANTIERE: SS398 - Piombino

OPERA:

CV01 - Pila P1

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.20 (m) Area del Palo (A_p): 1.131 (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (z_p): 0.00 (m) Quota falda dal p.c. (z_w): 0.00 (m)
 Carico Assiale Permanente (G): 1 (kN) Carico Assiale variabile (Q): (kN)
 Numero di strati $6 \frac{1}{2}$ L_{palo} = 24.00 (m)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' _{med} (kPa)	φ' _{med} (°)	c _{u med} (kPa)
1	1.50	Ug2: Argille poco consistenti	17.00	0.0	0.0	
2	1.00	Ug3: Sabbie limose	20.00	0.0	32.0	
3	13.50	Ug2: Argille consistenti	19.50	25.0	25.0	75.0
4	2.50	Ug3: Sabbie limose	20.00	0.0	32.0	
5	1.50	UG4b: substrato alterato	20.00	20.0	25.0	
6	4.00	Ug4a: substrato litoide	26.00	50.0	38.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		
0.47	0.62		
0.58	0.47		0.35
0.47	0.62		
0.58	0.47		
0.38	0.78		

RISULTATI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Q _{si} (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)	Q _{si} (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)
1	1.50	Ug2: Argille poco consistenti	0.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
2	1.00	Ug3: Sabbie limose	17.2					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
3	13.50	Ug2: Argille consistenti	1336.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
4	2.50	Ug3: Sabbie limose	446.4					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
5	1.50	UG4b: substrato alterato	276.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
6	4.00	Ug4a: substrato litoide	999.6	43.43	54.31	13691.9	15485.1	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 1.0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base $R_{b;cal med} = 15485.1 \text{ (kN)}$

laterale $R_{s;cal med} = 3075.1 \text{ (kN)}$

totale $R_{c;cal med} = 18560.2 \text{ (kN)}$

CV01 – RELAZIONE GEOTECNICA CALCOLO FONDAZIONI

CANTIERE: SS398 - Piombino

OPERA:

CV01 - Pila P2

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.20 (m) Area del Palo (A_p): 1.131 (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (z_p): 0.00 (m) Quota falda dal p.c. (z_w): 0.00 (m)
 Carico Assiale Permanente (G): 1 (kN) Carico Assiale variabile (Q): (kN)

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' _{med} (kPa)	φ _{med} (°)	c _{u med} (kPa)
1	1.50	Ug2: Argille poco consistenti	17.00	0.0	0.0	
2	1.00	Ug3: Sabbie limose	20.00	0.0	32.0	
3	14.00	Ug2: Argille consistenti	19.50	25.0	25.0	75.0
4	3.50	Ug3: Sabbie limose	20.00	0.0	32.0	
5	4.00	Ug2: Argille consistenti	19.50	25.0	25.0	75.0
6	5.00	UG4b: substrato alterato	20.00	20.0	25.0	
7	4.00	Ug4a: substrato litoide	26.00	50.0	38.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0.00	0.00		
0.47	0.62		
0.58	0.47		0.35
0.47	0.62		
0.58	0.47		0.35
0.58	0.47		
0.38	0.78		

RISULTATI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Q _{si} (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)	Q _{si} (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)
1	1.50	Ug2: Argille poco consistenti	0.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
2	1.00	Ug3: Sabbie limose	17.2					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
3	14.00	Ug2: Argille consistenti	1385.4					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
4	3.50	Ug3: Sabbie limose	662.8					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
5	4.00	Ug2: Argille consistenti	395.8					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
6	5.00	UG4b: substrato alterato	1276.4					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
7	4.00	Ug4a: substrato litoide	1396.9	41.85	52.28	16863.5	19072.2	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 1.0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base $R_{b;cal med} = 19072.2 \text{ (kN)}$

laterale $R_{s;cal med} = 5134.5 \text{ (kN)}$

totale $R_{c;cal med} = 24206.6 \text{ (kN)}$

CV01 – RELAZIONE GEOTECNICA CALCOLO FONDAZIONI

CANTIERE: SS398 - Piombino

OPERA:

CV01 - Pila P3

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.20 (m) Area del Palo (Ap): 1.131 (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (z_p): 0.00 (m) Quota falda dal p.c. (z_w): 0.00 (m)
 Carico Assiale Permanente (G): 1 (kN) Carico Assiale variabile (Q): (kN)
 Numero di strati 7 $\frac{1}{2}$ Lpalo = 34.00 (m)

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ	c'_{med}	ϕ'_{med}	$c_{u,med}$
(-)	(m)		(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(kPa)
1	1.50	Ug2: Argille poco consistenti	17.00	0.0	0.0	
2	1.00	Ug3: Sabbie limose	20.00	0.0	32.0	
3	14.00	Ug2: Argille consistenti	19.50	25.0	25.0	75.0
4	4.50	Ug3: Sabbie limose	20.00	0.0	32.0	
5	7.50	Ug2: Argille consistenti	19.50	25.0	25.0	75.0
6	2.00	UG4b: substrato alterato	20.00	20.0	25.0	
7	3.50	Ug4a: substrato litoide	26.00	50.0	38.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		
0.47	0.62		
0.58	0.47		0.35
0.47	0.62		
0.58	0.47		0.35
0.58	0.47		
0.38	0.78		

RISULTATI

Strato	Spess	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qsi	Nq	Nc	qb	Qbm	Qsi	Nq	Nc	qb	Qbm
(-)	(m)		(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)	
1	1.50	Ug2: Argille poco consistenti	0.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
2	1.00	Ug3: Sabbie limose	17.2					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
3	14.00	Ug2: Argille consistenti	1385.4					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
4	4.50	Ug3: Sabbie limose	877.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
5	7.50	Ug2: Argille consistenti	742.2					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
6	2.00	UG4b: substrato alterato	567.9					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
7	3.50	Ug4a: substrato litoide	1258.9	41.67	52.06	17011.2	19239.3	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0

CARICO ASSIALE AGENTE

$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$

$N_d = 1.0 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base $R_{b,cal med} = 19239.3 \text{ (kN)}$

laterale $R_{s,cal med} = 4848.7 \text{ (kN)}$

totale $R_{c,cal med} = 24087.9 \text{ (kN)}$

CV01 – RELAZIONE GEOTECNICA CALCOLO FONDAZIONI

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

CANTIERE: SS398 - Piombino

OPERA:

CV01 - Pila P4

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.20 (m) Area del Palo (Ap): 1.131 (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (z_p): 0.00 (m) Quota falda dal p.c. (z_w): 0.00 (m)
 Carico Assiale Permanente (G): 1 (kN) Carico Assiale variabile (Q): (kN)
 Numero di strati 7 Lpalo = 34.00 (m)

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ	c' med	φ' med	c _u med
(-)	(m)		(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(kPa)
1	1.00	Ug2: Argille poco consistenti	17.00	0.0	0.0	
2	1.00	Ug3: Sabbie limose	20.00	0.0	0.0	
3	15.00	Ug2: Argille consistenti	19.50	25.0	25.0	75.0
4	8.00	Ug3: Sabbie limose	20.00	0.0	32.0	
5	4.00	Ug2: Argille consistenti	20.00	25.0	25.0	75.0
6	1.00	UG4b: substrato alterato	20.00	20.0	25.0	
7	4.00	Ug4a: substrato litoide	26.00	50.0	38.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		
0.00	0.00		
0.58	0.47		0.35
0.47	0.62		
0.58	0.47		0.35
0.58	0.47		
0.38	0.78		

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

RISULTATI

Strato	Spess	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Q _{si}	N _q	N _c	q _b	Q _{bm}	Q _{si}	N _q	N _c	q _b	Q _{bm}
(-)	(m)		(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)	(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)
1	1.00	Ug2: Argille poco consistenti	0.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
2	1.00	Ug3: Sabbie limose	0.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
3	15.00	Ug2: Argille consistenti	1484.4					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
4	8.00	Ug3: Sabbie limose	1767.4					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
5	4.00	Ug2: Argille consistenti	395.8					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
6	1.00	UG4b: substrato alterato	288.8					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
7	4.00	Ug4a: substrato litoide	1455.8	41.67	52.06	17334.2	19604.5	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 1.0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base $R_{b;cal \text{ med}} = 19604.5 \text{ (kN)}$

laterale $R_{s;cal \text{ med}} = 5392.2 \text{ (kN)}$

totale $R_{c;cal \text{ med}} = 24996.7 \text{ (kN)}$

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

CANTIERE: SS398 - Piombino

OPERA:

CV01 - Spalla SP2

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.20 (m) Area del Palo (Ap): 1.131 (m²)
Quota testa Palo dal p.c. (z_p): 0.00 (m) Quota falda dal p.c. (z_w): 0.00 (m)
Carico Assiale Permanente (G): 1 (kN) Carico Assiale variabile (Q): (kN)
Numero di strati 7 Lpalo = 36.00 (m)

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ	c' med	φ' med	c _u med
(-)	(m)		(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(kPa)
1	1.50	Ug2: Argille poco consistenti	17.00	0.0	0.0	
2	1.00	Ug3: Sabbie limose	20.00	0.0	0.0	
3	14.50	Ug2: Argille consistenti	19.50	25.0	25.0	75.0
4	10.00	Ug3: Sabbie limose	20.00	0.0	32.0	
5	3.00	Ug2: Argille consistenti	20.00	25.0	25.0	75.0
6	2.00	UG4b: substrato alterato	20.00	20.0	30.0	
7	4.00	Ug4a: substrato litoide	26.00	50.0	38.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.00	0.00		
0.00	0.00		
0.58	0.47		0.35
0.47	0.62		
0.58	0.47		0.35
0.50	0.58		
0.38	0.78		

Strato	Spess	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Q _{si}	N _q	N _c	q _b	Q _{bm}	Q _{si}	N _q	N _c	q _b	Q _{bm}
(-)	(m)		(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)	(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)
1	1.50	Ug2: Argille poco consistenti	0.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
2	1.00	Ug3: Sabbie limose	0.0					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
3	14.50	Ug2: Argille consistenti	1434.9					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
4	10.00	Ug3: Sabbie limose	2306.1					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
5	3.00	Ug2: Argille consistenti	296.9					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
6	2.00	UG4b: substrato alterato	649.2					0.0	0.00	0.00	0.0	0.0
7	4.00	Ug4a: substrato litoide	1540.7	41.32	51.61	17962.4	20314.9	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 1.0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

$$\text{base } R_{b;cal med} = 20314.9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s;cal med} = 6227.7 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c;cal med} = 26542.7 \text{ (kN)}$$

ALLEGATO B - CARICO LIMITE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ (°)	k_p	c_u (kPa)
p.c.=strato 1		100.00	19.5	9.5	27	2.66	
✓ strato 2		96.00	19.5	9.5	24	2.37	
□ strato 3						1.00	
□ strato 4						1.00	
□ strato 5						1.00	
□ strato 6						1.00	

Quota falda 100 (m)
 Diametro del palo D 1.20 (m)
 Lunghezza del palo L 22.00 (m)
 Momento di plasticizzazione palo My 4500 (kNm)
 Step di calcolo 0.01 (m)

palo impedito di ruotare
 palo libero

		Calcolo (ctrl+r)	
Palo lungo	H =	1996.3	(kN)
Palo intermedio	H =	5418.0	(kN)
Palo corto	H =	19704.7	(kN)
Hlim =		1996.3	(kN)

Palo lungo

opera **CV01: PILE**

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ (°)	k_p	c_u (kPa)
p.c.=strato 1		100.00	19.5	9.5	27	2.66	0
✓ strato 2		96.00	19.5	9.5	24	2.37	0
□ strato 3						1.00	
□ strato 4						1.00	
□ strato 5						1.00	
□ strato 6						1.00	

Quota falda 100 (m)
 Diametro del palo D 1.20 (m)
 Lunghezza del palo L 34.00 (m)
 Momento di plasticizzazione palo My 1500 (kNm)
 Step di calcolo 0.01 (m)

palo impedito di ruotare
 palo libero

		Calcolo (ctrl+r)	
Palo lungo	H =	969.8	(kN)
Palo intermedio	H =	12303.2	(kN)
Palo corto	H =	46952.4	(kN)
Hlim =		969.8	(kN)

Palo lungo

ALLEGATO C - COMPORTAMENTO SLE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI ASSIALI

OPERA: CV01 - Spalla SP1

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	1.20	(m)
Carico sul palo (P):	2185.0	(kN)
Lunghezza del Palo (L):	22.00	(m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu):	5.00	(m)
Modulo di Deformazione (E):	100.00	(MPa)
Numero di pali della Palificata (n):	12	(-)
Spaziatura dei pali (s)	3.6	(m)

CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:

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

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D): \quad 1.12 \quad (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta * P / E * L_{utile} = 4.89 \text{ (mm)}$$

CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:

$$\delta_p = R_s * \delta = n * R_g * \delta$$

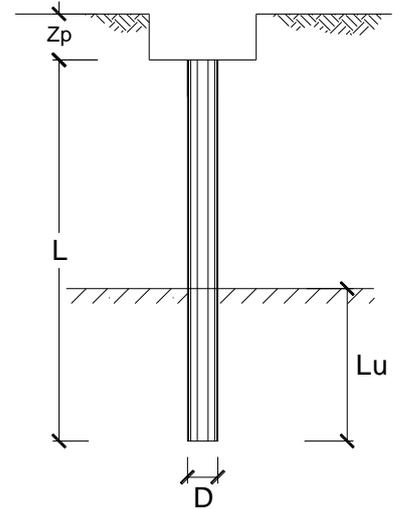
Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Viggiani, 1999})$$

$$R = (n * s / L)^{0,5} \quad R = 1.401$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n * R_g * \delta = 12 * 0.42 * 4.89 = 24.84 \text{ (mm)}$$



OPERA: CV01 - Spalla SP2

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	1.20	(m)
Carico sul palo (P):	2185.0	(kN)
Lunghezza del Palo (L):	36.00	(m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu):	5.00	(m)
Modulo di Deformazione (E):	100.00	(MPa)
Numero di pali della Palificata (n):	12	(-)
Spaziatura dei pali (s)	3.6	(m)

CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:

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

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{\text{utile}} / D) = 1.12 \quad (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta * P / E * L_{\text{utile}} = 4.89 \quad (\text{mm})$$

CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:

$$\delta_p = R_s * \delta = n * R_g * \delta$$

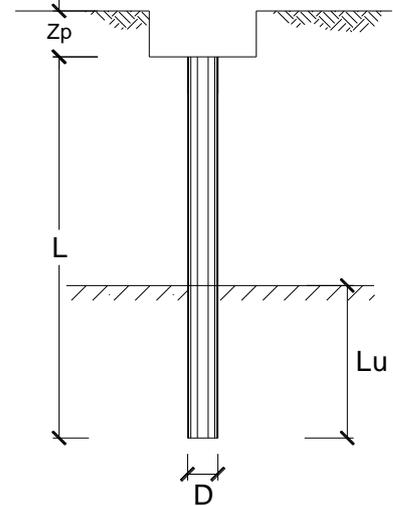
Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Viggiani, 1999})$$

$$R = (n * s / L)^{0,5} \quad R = 1.095$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n * R_g * \delta = 12 * 0.56 * 4.89 = 33.16 \quad (\text{mm})$$



OPERA: CV01: PILA 1

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.20 (m)
Carico sul palo (P): 2233.0 (kN)
Lunghezza del Palo (L): 24.00 (m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu): 5.00 (m)
Modulo di Deformazione (E): 100.00 (MPa)
Numero di pali della Palificata (n): 9 (-)
Spaziatura dei pali (s): 3.6 (m)

CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:

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

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{\text{utile}} / D): 1.12 (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta * P / E * L_{\text{utile}} = 5.00 \text{ (mm)}$$

CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:

$$\delta_p = R_s * \delta = n * R_g * \delta$$

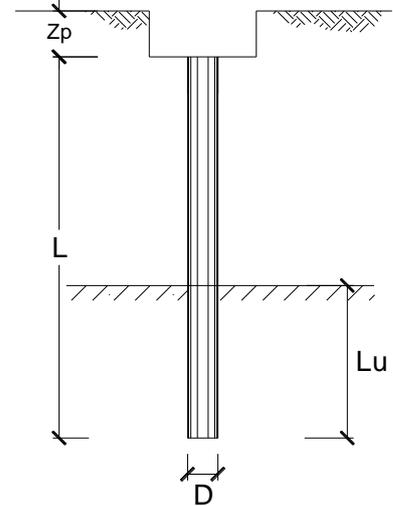
Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Viggiani, 1999})$$

$$R = (n * s / L)^{0,5} \quad R = 1.162$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n * R_g * \delta = 9 * 0.53 * 5.00 = 23.70 \text{ (mm)}$$



OPERA: CV01: PILA 2

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.20 (m)
Carico sul palo (P): 2396.0 (kN)
Lunghezza del Palo (L): 33.00 (m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu): 5.00 (m)
Modulo di Deformazione (E): 100.00 (MPa)
Numero di pali della Palificata (n): 9 (-)
Spaziatura dei pali (s): 3.6 (m)

CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:

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

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{\text{utile}} / D): 1.12 (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta * P / E * L_{\text{utile}} = 5.37 \text{ (mm)}$$

CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:

$$\delta_p = R_s * \delta = n * R_g * \delta$$

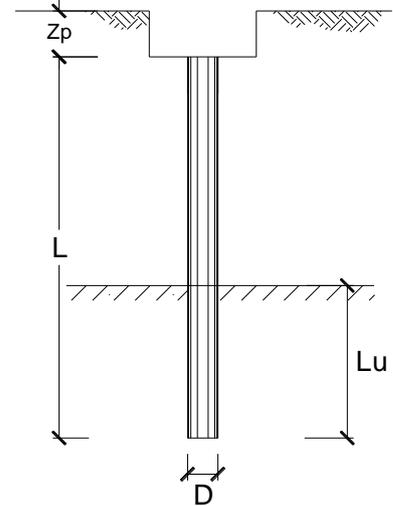
Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Viggiani, 1999})$$

$$R = (n * s / L)^{0,5} \quad R = 0.991$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n * R_g * \delta = 9 * 0.64 * 5.37 = 30.76 \text{ (mm)}$$



OPERA: CV01: PILA 3

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	1.20	(m)
Carico sul palo (P):	2336.0	(kN)
Lunghezza del Palo (L):	34.00	(m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu):	5.00	(m)
Modulo di Deformazione (E):	100.00	(MPa)
Numero di pali della Palificata (n):	9	(-)
Spaziatura dei pali (s)	3.6	(m)

CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:

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

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{\text{utile}} / D): \quad 1.12 \quad (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta * P / E * L_{\text{utile}} = \quad 5.23 \quad (\text{mm})$$

CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:

$$\delta_p = R_s * \delta = n * R_g * \delta$$

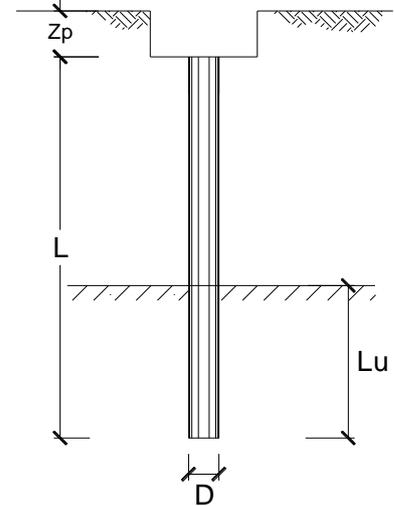
Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Viggiani, 1999})$$

$$R = (n * s / L)^{0,5} \quad R = \quad 0.976$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n * R_g * \delta = \quad 9 \quad * \quad 0.65 \quad * \quad 5.23 \quad = \quad 30.54 \quad (\text{mm})$$



OPERA: CV01: PILA 4

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1.20 (m)
Carico sul palo (P): 2219.0 (kN)
Lunghezza del Palo (L): 34.00 (m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu): 5.00 (m)
Modulo di Deformazione (E): 100.00 (MPa)
Numero di pali della Palificata (n): 9 (-)
Spaziatura dei pali (s): 3.6 (m)

CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:

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

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{\text{utile}} / D): 1.12 (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta * P / E * L_{\text{utile}} = 4.97 \text{ (mm)}$$

CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:

$$\delta_p = R_s * \delta = n * R_g * \delta$$

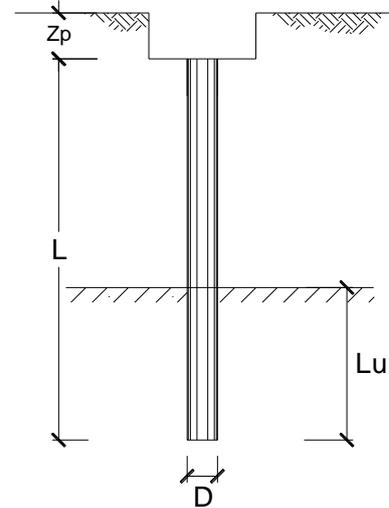
Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Viggiani, 1999})$$

$$R = (n * s / L)^{0,5} \quad R = 0.976$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n * R_g * \delta = 9 * 0.65 * 4.97 = 29.01 \text{ (mm)}$$

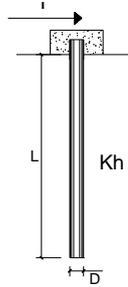


ALLEGATO D - COMPORTAMENTO SLE DEI PALI NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI

OPERA: CV01 - SPALLA 1

DATI DI INPUT:

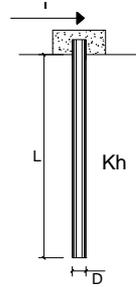
Diametro del palo (D):	1.2	(m)
Lunghezza del palo (L):	22	(m)
Coefficiente di reazione laterale (k _n):	10	(N/cm ³)
Forza orizzontale agente (T):	453	(kN)
f _{ck} del calcestruzzo:	27.0	(MPa)
f _{cm} del calcestruzzo:	35.0	(MPa)
E _{cls} (E = 22000(f _{cm} /10) ^{0.3}):	32036	(MPa)
J (J = π*D ⁴ /64):	10178760	(cm ⁴)
λ (lunghezza elastica λ = (4*E _{cls} /k _n *D) ^{1/4}):	574.19	(cm)



OPERA: CV01 - SPALLA 2

DATI DI INPUT:

Diametro del palo (D):	1.2	(m)
Lunghezza del palo (L):	36	(m)
Coefficiente di reazione laterale (k _n):	10	(N/cm ³)
Forza orizzontale agente (T):	453	(kN)
f _{ck} del calcestruzzo:	27.0	(MPa)
f _{cm} del calcestruzzo:	35.0	(MPa)
E _{cls} (E = 22000(f _{cm} /10) ^{0.3}):	32036	(MPa)
J (J = π*D ⁴ /64):	10178760	(cm ⁴)
λ (lunghezza elastica λ = (4*E _{cls} /k _n *D) ^{1/4}):	574.19	(cm)



z	y(z)	p(z)	α(z)	M(z)	T(z)
Prof. (m)	Spost. (cm)	Press. Lat. (N/cm ²)	Rotaz. (rad)	Mom. Flett. (kNm)	Taglio (kN)
0.00	0.657	6.57	0.00000	1300.536	-453.000
0.44	0.654	6.54	-0.00016	1108.846	-418.352
0.88	0.644	6.44	-0.00030	932.331	-384.076
1.32	0.628	6.28	-0.00041	770.757	-350.493
1.76	0.607	6.07	-0.00051	623.756	-317.869
2.20	0.583	5.83	-0.00058	490.859	-286.423
2.64	0.556	5.56	-0.00064	371.505	-256.330
3.08	0.527	5.27	-0.00068	265.070	-227.724
3.52	0.496	4.96	-0.00071	170.875	-200.706
3.96	0.464	4.64	-0.00073	88.206	-175.344
4.40	0.432	4.32	-0.00074	16.324	-151.678
4.84	0.400	4.00	-0.00074	-45.522	-129.725
5.28	0.367	3.67	-0.00073	-98.085	-109.480
5.72	0.336	3.36	-0.00071	-142.111	-90.921
6.16	0.305	3.05	-0.00069	-178.337	-74.010
6.60	0.275	2.75	-0.00066	-207.474	-58.696
7.04	0.247	2.47	-0.00063	-230.215	-44.921
7.48	0.220	2.20	-0.00060	-247.220	-32.614
7.92	0.194	1.94	-0.00057	-259.119	-21.701
8.36	0.170	1.70	-0.00053	-266.509	-12.102
8.80	0.147	1.47	-0.00049	-269.950	-3.736
9.24	0.126	1.26	-0.00046	-269.966	3.482
9.68	0.107	1.07	-0.00042	-267.042	9.636
10.12	0.089	0.89	-0.00039	-261.629	14.812
10.56	0.073	0.73	-0.00035	-254.140	19.090
11.00	0.058	0.58	-0.00032	-244.949	22.553
11.44	0.045	0.45	-0.00028	-234.401	25.279
11.88	0.033	0.33	-0.00025	-222.801	27.342

z	y(z)	p(z)	α(z)	M(z)	T(z)
Prof. (m)	Spost. (cm)	Press. Lat. (N/cm ²)	Rotaz. (rad)	Mom. Flett. (kNm)	Taglio (kN)
0.00	0.657	6.57	0.00000	1300.536	-453.000
0.72	0.648	6.48	-0.00025	994.774	-396.476
1.44	0.623	6.23	-0.00044	729.238	-341.491
2.16	0.586	5.86	-0.00058	502.372	-289.229
2.88	0.541	5.41	-0.00067	311.890	-240.535
3.60	0.490	4.90	-0.00072	155.008	-195.970
4.32	0.438	4.38	-0.00074	28.624	-155.853
5.04	0.385	3.85	-0.00073	-70.520	-120.312
5.76	0.333	3.33	-0.00071	-145.716	-89.316
6.48	0.283	2.83	-0.00067	-200.191	-62.718
7.20	0.237	2.37	-0.00062	-237.028	-40.279
7.92	0.194	1.94	-0.00057	-259.119	-21.701
8.64	0.155	1.55	-0.00051	-269.122	-6.641
9.36	0.121	1.21	-0.00045	-269.440	5.262
10.08	0.091	0.91	-0.00039	-262.213	14.379
10.80	0.065	0.65	-0.00033	-249.315	21.075
11.52	0.043	0.43	-0.00028	-232.361	25.701
12.24	0.025	0.25	-0.00023	-212.722	28.588
12.96	0.010	0.10	-0.00019	-191.538	30.042
13.68	-0.002	-0.02	-0.00015	-169.740	30.339
14.40	-0.011	-0.11	-0.00011	-148.067	29.729
15.12	-0.018	-0.18	-0.00008	-127.095	28.430
15.84	-0.023	-0.23	-0.00005	-107.248	26.630
16.56	-0.026	-0.26	-0.00003	-88.829	24.491
17.28	-0.028	-0.28	-0.00001	-72.031	22.146
18.00	-0.028	-0.28	0.00000	-56.960	19.708
18.72	-0.028	-0.28	0.00001	-43.653	17.263
19.44	-0.027	-0.27	0.00002	-32.086	14.882

z	y(z)	p(z)	α(z)	M(z)	T(z)
Prof. (m)	Spost. (cm)	Press. Lat. (N/cm ²)	Rotaz. (rad)	Mom. Flett. (kNm)	Taglio (kN)
12.32	0.023	0.23	-0.00022	-210.426	28.815
12.76	0.013	0.13	-0.00020	-197.520	29.765
13.20	0.005	0.05	-0.00017	-184.300	30.256
13.64	-0.002	-0.02	-0.00015	-170.953	30.349
14.08	-0.008	-0.08	-0.00013	-157.643	30.098
14.52	-0.013	-0.13	-0.00011	-144.510	29.555
14.96	-0.017	-0.17	-0.00009	-131.671	28.768
15.40	-0.020	-0.20	-0.00007	-119.224	27.780
15.84	-0.023	-0.23	-0.00005	-107.248	26.630
16.28	-0.025	-0.25	-0.00004	-95.808	25.354
16.72	-0.027	-0.27	-0.00003	-84.951	23.983
17.16	-0.028	-0.28	-0.00002	-74.712	22.546
17.60	-0.028	-0.28	-0.00001	-65.116	21.068
18.04	-0.028	-0.28	0.00000	-56.175	19.571
18.48	-0.028	-0.28	0.00001	-47.893	18.074
18.92	-0.028	-0.28	0.00001	-40.267	16.593
19.36	-0.027	-0.27	0.00002	-33.287	15.142
19.80	-0.026	-0.26	0.00002	-26.936	13.732
20.24	-0.025	-0.25	0.00003	-21.195	12.373
20.68	-0.024	-0.24	0.00003	-16.039	11.073
21.12	-0.023	-0.23	0.00003	-11.441	9.837
21.56	-0.021	-0.21	0.00003	-7.372	8.670
22.00	-0.020	-0.20	0.00003	-3.801	7.574

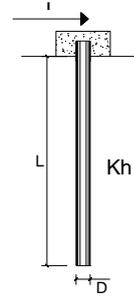
z	y(z)	p(z)	α(z)	M(z)	T(z)
Prof. (m)	Spost. (cm)	Press. Lat. (N/cm ²)	Rotaz. (rad)	Mom. Flett. (kNm)	Taglio (kN)
20.16	-0.025	-0.25	0.00002	-22.195	12.616
20.88	-0.023	-0.23	0.00003	-13.882	10.503
21.60	-0.021	-0.21	0.00003	-7.028	8.567
22.32	-0.019	-0.19	0.00003	-1.499	6.823
23.04	-0.017	-0.17	0.00003	2.845	5.277
23.76	-0.015	-0.15	0.00003	6.146	3.927
24.48	-0.012	-0.12	0.00003	8.545	2.767
25.20	-0.010	-0.10	0.00003	10.175	1.788
25.92	-0.008	-0.08	0.00002	11.161	0.977
26.64	-0.007	-0.07	0.00002	11.618	0.318
27.36	-0.005	-0.05	0.00002	11.652	-0.203
28.08	-0.004	-0.04	0.00002	11.355	-0.603
28.80	-0.003	-0.03	0.00001	10.809	-0.898
29.52	-0.002	-0.02	0.00001	10.084	-1.102
30.24	-0.001	-0.01	0.00001	9.240	-1.230
30.96	0.000	0.00	0.00001	8.327	-1.296
31.68	0.000	0.00	0.00001	7.386	-1.311
32.40	0.000	0.00	0.00000	6.448	-1.287
33.12	0.001	0.01	0.00000	5.540	-1.232
33.84	0.001	0.01	0.00000	4.679	-1.155
34.56	0.001	0.01	0.00000	3.880	-1.064
35.28	0.001	0.01	0.00000	3.150	-0.963
36.00	0.001	0.01	0.00000	2.495	-0.857

CV01 – RELAZIONE GEOTECNICA CALCOLO FONDAZIONI

OPERA: CV01 - PILA 2

DATI DI INPUT:

Diametro del palo (D): 1.2 (m)
 Lunghezza del palo (L): 33 (m)
 Coefficiente di reazione laterale (k_h): 10 (N/cm³)
 Forza orizzontale agente (T): 43 (kN)
 fck del calcestruzzo: 27.0 (MPa)
 fcm del calcestruzzo: 35.0 (MPa)
 Ecls (E = 22000(fcm/10)^{0.3}): 32036 (MPa)
 J (J = $\pi \cdot D^4 / 64$): 10178760 (cm⁴)
 λ (lunghezza elastica $\lambda = (4 \cdot E J / k_h \cdot D)^{1/4}$): 574.19 (cm)



z	y(z)	p(z)	$\alpha(z)$	M(z)	T(z)
Prof.	Spost.	Press. Lat.	Rotaz.	Mom. Flett.	Taglio
(m)	(cm)	(N/cm ²)	(rad)	(kNm)	(kN)
0.00	0.062	0.62	0.00000	123.450	-43.000
0.66	0.062	0.62	-0.00002	96.698	-38.078
1.32	0.060	0.60	-0.00004	73.162	-33.270
1.98	0.057	0.57	-0.00005	52.737	-28.665
2.64	0.053	0.53	-0.00006	35.264	-24.332
3.30	0.049	0.49	-0.00007	20.549	-20.315
3.96	0.044	0.44	-0.00007	8.373	-16.644
4.62	0.039	0.39	-0.00007	-1.500	-13.335
5.28	0.035	0.35	-0.00007	-9.310	-10.392
5.94	0.030	0.30	-0.00007	-15.297	-7.809
6.60	0.026	0.26	-0.00006	-19.694	-5.572
7.26	0.022	0.22	-0.00006	-22.724	-3.663
7.92	0.018	0.18	-0.00005	-24.596	-2.060
8.58	0.015	0.15	-0.00005	-25.505	-0.738
9.24	0.012	0.12	-0.00004	-25.626	0.331
9.90	0.009	0.09	-0.00004	-25.118	1.171
10.56	0.007	0.07	-0.00003	-24.124	1.812
11.22	0.005	0.05	-0.00003	-22.765	2.278
11.88	0.003	0.03	-0.00002	-21.149	2.595
12.54	0.002	0.02	-0.00002	-19.367	2.786
13.20	0.001	0.01	-0.00002	-17.494	2.872
13.86	0.000	0.00	-0.00001	-15.594	2.873
14.52	-0.001	-0.01	-0.00001	-13.717	2.805
15.18	-0.002	-0.02	-0.00001	-11.903	2.686
15.84	-0.002	-0.02	-0.00001	-10.180	2.528
16.50	-0.002	-0.02	0.00000	-8.572	2.343
17.16	-0.003	-0.03	0.00000	-7.092	2.140
17.82	-0.003	-0.03	0.00000	-5.749	1.929

z	y(z)	p(z)	$\alpha(z)$	M(z)	T(z)
Prof.	Spost.	Press. Lat.	Rotaz.	Mom. Flett.	Taglio
(m)	(cm)	(N/cm ²)	(rad)	(kNm)	(kN)
18.48	-0.003	-0.03	0.00000	-4.546	1.716
19.14	-0.003	-0.03	0.00000	-3.483	1.506
19.80	-0.002	-0.02	0.00000	-2.557	1.303
20.46	-0.002	-0.02	0.00000	-1.760	1.112
21.12	-0.002	-0.02	0.00000	-1.086	0.934
21.78	-0.002	-0.02	0.00000	-0.525	0.770
22.44	-0.002	-0.02	0.00000	-0.066	0.622
23.10	-0.002	-0.02	0.00000	0.300	0.489
23.76	-0.001	-0.01	0.00000	0.583	0.373
24.42	-0.001	-0.01	0.00000	0.795	0.271
25.08	-0.001	-0.01	0.00000	0.945	0.184
25.74	-0.001	-0.01	0.00000	1.041	0.111
26.40	-0.001	-0.01	0.00000	1.093	0.050
27.06	-0.001	-0.01	0.00000	1.109	0.000
27.72	0.000	0.00	0.00000	1.095	-0.040
28.38	0.000	0.00	0.00000	1.059	-0.070
29.04	0.000	0.00	0.00000	1.005	-0.093
29.70	0.000	0.00	0.00000	0.938	-0.108
30.36	0.000	0.00	0.00000	0.863	-0.118
31.02	0.000	0.00	0.00000	0.783	-0.123
31.68	0.000	0.00	0.00000	0.701	-0.124
32.34	0.000	0.00	0.00000	0.619	-0.122
33.00	0.000	0.00	0.00000	0.540	-0.118