

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO  
NODO DI CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA  
DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL  
TRATTO DI LINEA INTERESSATO.**

**MACROFASE FUNZIONALE 1**

**LOTTO 2**

**ELABORATI GENERALI - GEOTECNICA - GE**

**Relazione fondazioni profonde con scalzamento**

SCALA:

-

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

RS3H    02    D    78    RH    GE0005    006    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L.Nani	Marzo 2020	C.Toraldo <i>Caterina Toraldo</i>	Marzo 2020	S.Vanfiori <i>S. Vanfiori</i>	Marzo 2020	D.Tiberti <i>D. Tiberti</i>
								Marzo 2020

File: RS3H.0.2.D.78.RH.GE.00.0.5.006.A

n. Elab.:

ITALFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
Direzione Generale  
UO Infrastrutture Sud  
Dott. Ing. Dario Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10476

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
1.1	DATI DI INPUT.....	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
3	MATERIALI .....	7
3.1	CALCESTRUZZO PALI DI FONDAZIONE.....	7
3.2	ACCIAIO PER C.A. (ARMATURA ORDINARIA) .....	8
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	9
5	VERIFICA A SCALZAMENTO .....	11
5.1	SCARICHI PER SCALZAMENTO.....	11
5.1.1	<i>Scarichi SL05</i> .....	11
5.1.2	<i>Scarichi NW01</i> .....	13
5.1.3	<i>Scarichi spalla IV01</i> .....	14
5.1.4	<i>Scarichi per pila IV01</i> .....	16
5.1.5	<i>Scarichi per spalla VI02</i> .....	17
5.2	VERIFICA A CAPACITÀ PORTANTE .....	18
5.2.1	<i>Spalla NW01</i> .....	19
5.2.2	<i>Spalla IV01</i> .....	20
5.2.3	<i>Pila IV01</i> .....	21
5.2.4	<i>Spalla VI02</i> .....	22
5.3	VERIFICA A CARICO ORIZZONTALE .....	24
5.3.1	<i>Metodologie di calcolo analisi a carico limite orizzontale in presenza di scalzamento</i> .....	24
5.3.2	<i>Scatolare SL05</i> .....	24
5.3.3	<i>Spalla NW01</i> .....	30
5.3.4	<i>Spalla IV01</i> .....	39
5.3.5	<i>Pila IV01</i> .....	44
5.3.6	<i>Spalla VI02</i> .....	48



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA  
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL'  
AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA  
INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 1  
LOTTO 02

Relazione fondazioni profonde con scalzamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	02	D78RH	GE00 05 006	A	3 di 53

5.4 VERIFICA STRUTTURALE IN CONDIZIONI DI SCALZAMENTO .....53

## 1 PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo, delle opere d'arte e delle opere interferite relative al Nodo di Catania ed in particolare al progetto definitivo di Interramento linea dal km 231+631, tra le stazioni di Catania Acquicella e Bicocca, al km 237+139, tra le stazioni di Bicocca e Lentini Diramazione, per il prolungamento della pista dell'aeroporto Vincenzo Bellini di Catania-Fontanarossa

In particolare si tratterà il dimensionamento dei pali di fondazione in corrispondenza delle sottostrutture dei viadotti che subiscono scalzamento e che sono di seguito elencate:

- Spalla NW01
- Spalla IV01
- Pila IV01
- Scatolare SL05
- Spalla VI02

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 17 gennaio 2018.

Le verifiche eseguite nella presente relazione sono aggiuntive a quelle svolte nelle specifiche relazioni di calcolo citate di seguito a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

- NW01 Ponte NV08 su canale, "Relazione di calcolo spalle": RS3H.0.2.D.78.CL.NW.01.0.4.001.A
- IV01 CVF E NV08 interferenza con Fascio A/P km 3+050 circa, "Relazione di calcolo spalle": RS3H.0.2.D.78.CL.IV.01.0.4.001.A
- IV01 CVF E NV08 interferenza con Fascio A/P km 3+050 circa, "Relazione di calcolo pile": RS3H.0.2.D.78.CL.IV.01.0.5.001.A
- SL05 Scatolari di appoggio IV01, "Relazione di calcolo scatolari di appoggio": RS3H.0.2.D.78.CL.SL.05.0.0.001.A
- VI02 Ponte su Canale al km 2+800 dopo fascio A/P, "Relazione di calcolo spalle": RS3H.0.2.D.78.CL.VI.02.0.4.001.A

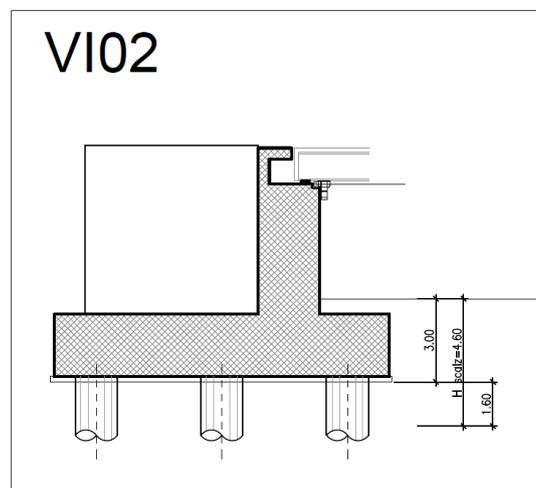
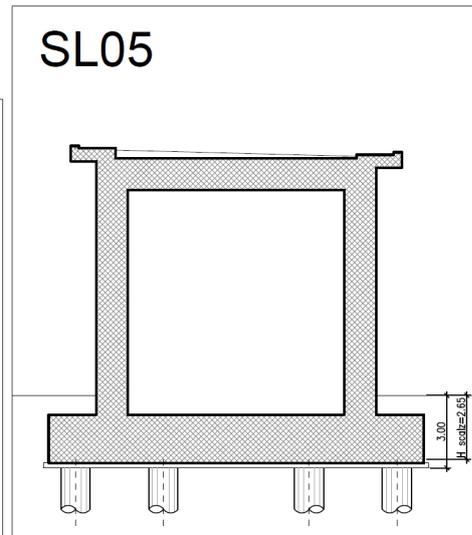
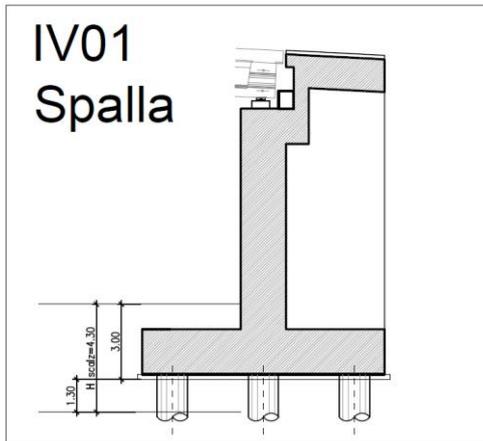
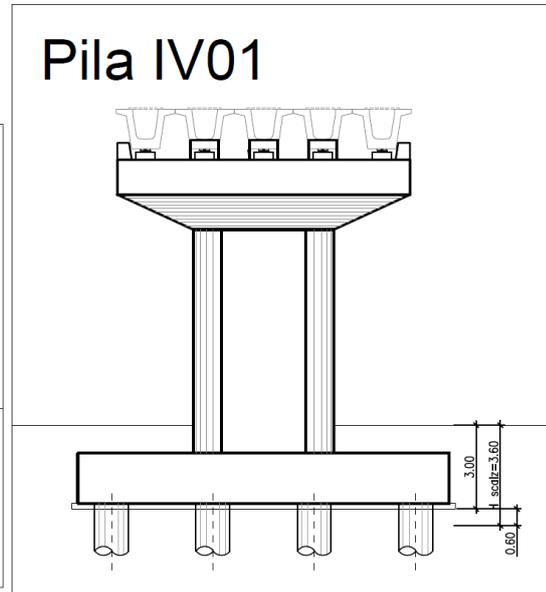
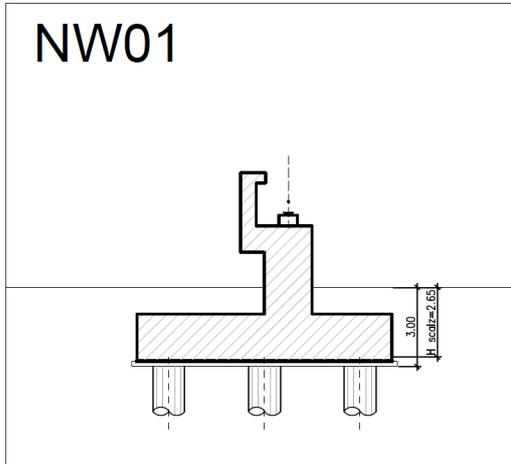
Si noti come le verifiche geotecniche dimensionanti sono quelle contenute nelle suddette relazioni:

### 1.1 Dati di input

Come dato di input si considera uno scalzamento a partire da piano campagna per le varie opere pari a:

- Scalzamento di 2.65 metri per NW01 e SL05
- Scalzamento di 3.60 metri per le pile di IV01
- Scalzamento di 4.30 metri per le spalle di IV01
- Scalzamento di 4.60 metri per VI02

Nelle figure si riportano le quote di profondità della testa dei pali e del relativo scalzamento:



## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

[N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);

[N.2]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;

[N.3]. 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

[N.4]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2

[N.5]. RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21-12-18 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili

### 3 MATERIALI

Si riportano di seguito i materiali previsti per la realizzazione delle strutture, suddivisi per elemento costruttivo.

#### 3.1 Calcestruzzo pali di fondazione

Classe	C25/30		
$R_{ck} =$	30	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} =$	25	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm} =$	30	MPa	valor medio resistenza cilindrica
$\alpha_{cc} =$	0,85		coeff. rid. Per carichi di lunga durata
$\gamma_M =$	1,5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{cd} =$	14.16	MPa	resistenza di progetto
$f_{ctm} =$	2.56	MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctm} =$	3,07	MPa	resistenza media a trazione per flessione
$f_{ctk} =$	1.9	MPa	valore caratteristico resistenza a trazione
$E_{cm} =$	30588	MPa	Modulo elastico di progetto
$\nu =$	0,2		Coefficiente di Poisson
$G_c =$	13894	MPa	Modulo elastico Tangenziale di progetto
$c =$	60	mm	Copri ferro minimo
XC2			Classe di esposizione
$\sigma_c < 0.60 \times f_{ck} =$	19.2		Tensione massima di compressione in esercizio per combinazioni RARE
$\sigma_c < 0.45 \times f_{ck} =$	14.4		Tensione massima di compressione in esercizio per combinazioni QUASI PERMANENTI
$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2 =$	2.52		Tensione limite di fessurazione

### 3.2 Acciaio per c.a. (armatura ordinaria)

B450C

$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} \geq$	540	MPa	tensione caratteristica di rottura
$(f_t/f_y)_k \geq$	1,15		
$(f_t/f_y)_k <$	1,35		
$\gamma_s =$	1,15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{yd} =$	391,3	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	200000	MPa	Modulo elastico di progetto
$\varepsilon_{yd} =$	0,196%		deformazione di progetto a snervamento
$\varepsilon_{uk} = (A_{gt})_k$	7,50%		deformazione caratteristica ultima

#### 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nella seguente tabella si riporta la caratterizzazione geotecnica per le opere in esame, valutata sulla base dell'interpretazione delle indagini geotecniche svolte in prossimità delle stesse opere.

Unità geotecnica	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (kN/m <sup>3</sup> )	(N <sub>SPT</sub> ) <sub>m</sub>	cu (kN/m <sup>2</sup> )
Unità U1	18.5	28	13	-
Unità U1a	19.0	21	14	45
Unità U2a	19.5	20	25	40
Unità U2	19.5	29	30	

**Tabella 1 – Parametri geotecnici di calcolo.**

La stratigrafia di riferimento da piano campagna finalizzata al dimensionamento delle palificate di fondazione del viadotto NW01 e VI02 sono riportate nelle seguente tabella:

Profondità da p.c. [m]	Unità geotecnica
Da 0.0 a 7.5	Unità U1
Da 7.5 a 13.0	Unità U1a
Da 13.0 a 22.0	Unità U2a
Da 22.0 a 23.5	Unità U2
Da 23.5 a 34.0	Unità U2a
Da 34.0 a 50.0	Unità U2

**Tabella 2 – Stratigrafia di calcolo per NW01 e VI02.**

La falda è posta a 5 m da p.c. Di seguito i sondaggi di riferimento utilizzati per ricostruire la stratigrafia di calcolo.

sondaggi			
nome	PK (CT-SR)	Q.ta	D ASSE
SD22	3+007,61	8.57	28 dx
SD35	2+927,67	9.16	1 dx
SH1	2+937,72	10.33	23 sx
S2e	2+994,12	8.60	1 dx

**Tabella 3 – Sondaggi di riferimento per NW01 e VI02.**

La stratigrafia di riferimento da piano campagna finalizzata al dimensionamento delle palificate di fondazione del viadotto IV01 e SL05 sono riportate nelle seguente tabella:

Profondità da p.c. [m]	Unità geotecnica
Da 0.0 a 2.0	Riporto
Da 2.0 a 14.50	Unità U1
Da 14.50 a 19.00	Unità U2
Da 19.0 a 36.50	Unità U2a
Da 36.5 a 48.5	Unità U2

**Tabella 4 – Stratigrafia di calcolo per IV01 e SL05.**

La falda è posta a 2 m da p.c. Di seguito i sondaggi di riferimento utilizzati per ricostruire la stratigrafia di calcolo.

sondaggi			
nome	PK (CT-SR)	Q.ta	D ASSE
PZ7	3+154,66	9.13	11 dx
SD39	2+500,00	8.79	16 dx
SD36	2+815,00	9.01	18dx

**Tabella 5 – Sondaggi di riferimento per IV01 e SL05.**

## 5 VERIFICA A SCALZAMENTO

La verifica a scalzamento dei pali di fondazione viene eseguita considerando uno strato di terreno, a partire dal piano campagna, che per tutta la profondità presenta caratteristiche meccaniche, di resistenza e di deformazione quasi nulle. La verifica si esegue sia a capacità portante che a carico orizzontale, utilizzando opportuni valori di carico.

### 5.1 Scarichi per scalzamento

Per ogni opera si esegue la verifica a scalzamento valutando il carico verticale e orizzontale derivante dalla combinazione eccezionale data da Normativa. In favore di sicurezza si considerano le sollecitazioni derivanti dalle combinazioni rare utilizzate nel modello di calcolo dell'opera.

Di seguito gli scarichi così ottenuti:

#### 5.1.1 Scarichi SL05

Per la verifica a scalzamento si devono considerare gli scarichi sui singoli pali prodotti dalla combinazione eccezionale  $G1+G2+0.8Q$ .

A scopo cautelativo ed in favore di sicurezza si considerano gli scarichi derivanti dalla la combinazione di carico SLERARA:

COMBO	SLER	IMPALCATO
G1	1	
G2	1	
C1-SCHEMA-1	1	
C2-SCHEMA-2	1	
C3-SCHEMA-3	1	
C1-FRE	1	
C2-FRE	1	
C3-FRE	1	
Q5	1	
Qw	0.6	
TEMP	0.6	
Ritiro	0.6	

COMBO	SLER	SCATOLARE	SL05
DEAD	1		
PERM	1		
ACC MOBILE	1		
VENTO	1		
TERMICO	0.6		
RITIRO	1		

TABLE: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
19	Enve-Caratt	Combination	Max	155.79	0	2501.636	0	0	0
19	Enve-Caratt	Combination	Min	73.3032	0	2127.017	0	0	0
20	Enve-Caratt	Combination	Max	-73.3032	0	2442.841	0	0	0
20	Enve-Caratt	Combination	Min	-155.79	0	2068.218	0	0	0
21	Enve-Caratt	Combination	Max	-102.625	0	2527.733	0	0	0
21	Enve-Caratt	Combination	Min	-218.106	0	2009.801	0	0	0
22	Enve-Caratt	Combination	Max	218.106	0	2590.099	0	0	0
22	Enve-Caratt	Combination	Min	102.6252	0	2072.369	0	0	0

**Tabella 6 – Sforzo assiale e taglio sul singolo palo in combinazione SLE Rara.**

Si considerano le seguenti combinazioni di sollecitazioni:

N =	2590 kN
-----	---------

**Tabella 7: Massimo valore di sforzo assiale**

Scarichi pali – SL05 (1)		
N =	2010	kN
V =	218	kN

**Tabella 8: Massimo valore di taglio e corrispondente valore di sforzo assiale**

Scarichi pali – SL05 (2)		
N =	2010	kN
V =	218	kN

**Tabella 9: Minimo valore di sforzo assiale e il corrispondente valore di taglio**

Si nota che con il massimo valore di sforzo assiale (Tabella 7) si esegue la verifica a capacità portante, mentre con le combinazioni riportate in Tabella 8 e Tabella 9 si esegue la verifica a carico orizzontale. In questo caso specifico, confrontando le combinazioni considerate per la verifica a carico orizzontale (Tabella 8 e Tabella 9), si evince che le due risultano uguali, per cui si esegue una sola verifica.

### 5.1.2 Scarichi NW01

Per la verifica a scalzamento si devono considerare gli scarichi sui singoli pali prodotti dalla combinazione eccezionale G1+G2+0.8Q.

A scopo cautelativo ed in favore di sicurezza si considerano gli scarichi derivanti dalla la combinazione di carico SLERARA:

COMBO	SLER	IMPALCATO
G1	1	
G2	1	
C1-SCHEMA-1	1	
C2-SCHEMA-2	1	
C3-SCHEMA-3	1	
C1-FRE	1	
C2-FRE	1	
C3-FRE	1	
Q5	1	
Qw	0.6	
TEMP	0.6	
Ritiro	0.6	

COMBO	SLER	SPALLA	NW01
DEAD	1		
PERM	1		
SPT_STAT K0	1		
SPQ_STAT	1		
REAZ_IMP_SLER	1		
TERMICO	0.6		
RITIRO	1		

Frame	OutputCase	P	V2	V3	
Text	Text	KN	KN	KN	
452	ENVE_SLER	-239	-458	57	
665	ENVE_SLER	-3154	-528	19	
					CARICO ORIZZONTALE
392	ENVE_SLER	-543	-439	49	V1 = 442 KN
665	ENVE_SLER	-3120	-528	19	V2 = 529 KN
					V3 = 453 KN
362	ENVE_SLER	-254	-448	70	V4 = 485 KN
452	ENVE_SLER	-933	-484	-23	Vd = 529 KN

**Tabella 10 – Sforzo assiale e taglio sul singolo palo in combinazione SLE Rara.**

Si considerano le seguenti combinazioni di sollecitazioni:

N =	3154 kN
-----	---------

**Tabella 11: Massimo valore di sforzo assiale**

Scarichi pali – NW01 (1)		
N =	3120	kN
V =	529	kN

**Tabella 12: Massimo valore di taglio e corrispondente valore di sforzo assiale**

Scarichi pali – NW01 (2)		
N =	239	kN
V =	462	kN

**Tabella 13: Minimo valore di sforzo assiale e il corrispondente valore di taglio**

Si nota che con il massimo valore di sforzo assiale (Tabella 11) si esegue la verifica a capacità portante, mentre con le combinazioni riportate in Tabella 12 e Tabella 13 Tabella 9 si esegue la verifica a carico orizzontale.

### 5.1.3 Scarichi spalla IV01

Per la verifica a scalzamento si devono considerare gli scarichi sui singoli pali prodotti dalla combinazione eccezionale G1+G2+0.8Q.

A scopo cautelativo ed in favore di sicurezza si considerano gli scarichi derivanti dalla la combinazione di carico SLERARA:

COMBO	SLER	IMPALCATO
G1	1	
G2	1	
C1-SCHEMA-1	1	
C2-SCHEMA-2	1	
C3-SCHEMA-3	1	
C1-FRE	1	
C2-FRE	1	
C3-FRE	1	
Q5	1	
Qw	0.6	
TEMP	0.6	
Ritiro	0.6	

COMBO	SLER	SPALLA	IV01
DEAD	1		
PERM	1		
ACC	1		
REAZ_IMP_SLER	1		
TERMICO	0.6		
RITIRO	1		

Frame	OutputCase	P	V2	V3	
Text	Text	KN	KN	KN	
873	ENVE_SLER	-1458	-117	31	<b>CARICO ORIZZONTALE</b> V1 = 74 KN V2 = 148 KN V3 = 103 KN V4 = 128 KN Vd = <b>148</b> KN
1023	ENVE_SLER	-2780	-117	31	
783	ENVE_SLER	-1627	-53	52	
933	ENVE_SLER	-2034	-146	26	
723	ENVE_SLER	-1790	-75	71	
873	ENVE_SLER	-1734	-128	-1	

**Tabella 14 – Sforzo assiale e taglio sul singolo palo in combinazione SLE Rara**

Si considerano le seguenti combinazioni di sollecitazioni:

N =	2780 kN
-----	---------

**Tabella 15: Massimo valore di sforzo assiale**

Scarichi pali – Spalla IV01 (1)		
N =	2034	kN
V =	148	kN

**Tabella 16: Massimo valore di taglio e corrispondente valore di sforzo assiale**

Scarichi pali – Spalla IV01 (2)		
N =	1458	kN
V =	121	kN

**Tabella 17: Minimo valore di sforzo assiale e il corrispondente valore di taglio**

Si nota che con il massimo valore di sforzo assiale (Tabella 15) si esegue la verifica a capacità portante, mentre con le combinazioni riportate in Tabella 16 e Tabella 17 si esegue la verifica a carico orizzontale.

#### 5.1.4 Scarichi per pila IV01

Per la verifica a scalzamento si devono considerare gli scarichi sui singoli pali prodotti dalla combinazione eccezionale G1+G2+0.8Q.

A scopo cautelativo ed in favore di sicurezza si considerano gli scarichi derivanti dalla la combinazione di carico SLERARA:

COMBO	SLER	IMPALCATO
G1	1	
G2	1	
C1-SCHEMA-1	1	
C2-SCHEMA-2	1	
C3-SCHEMA-3	1	
C1-FRE	1	
C2-FRE	1	
C3-FRE	1	
Q5	1	
Qw	0.6	
TEMP	0.6	
Ritiro	0.6	

COMBO	SLER	PILA	IV01
DEAD	1		
PERM	1		
VENTO	1		
REAZ_IMP_SLER	1		
TERMICO	0.6		
RITIRO	1		

Frame	OutputCase	P	V2	V3	
Text	Text	KN	KN	KN	
766	ENVE_SLER	-1231.66	-106.10	58.05	
946	ENVE_SLER	-2906.40	-117.75	56.33	
					<b>CARICO ORIZZONTALE</b>
706	ENVE_SLER	-1488.27	-102.38	58.05	V1 = 118 KN
766	ENVE_SLER	-1289.59	-121.47	53.84	V2 = 133 KN
					V3 = 121 KN
74	ENVE_SLER	-2662.46	-104.86	60.53	V4 = 132 KN
14	ENVE_SLER	-1381.53	-120.23	53.84	Vd = 133 KN

**Tabella 18 – Sforzo assiale e taglio sul singolo palo in combinazione SLE Rara.**

Si considerano le seguenti combinazioni di sollecitazioni:

N =	2906 kN
-----	---------

**Tabella 19: Massimo valore di sforzo assiale**

Scarichi pali – Pila IV01 (1)		
N =	1290	kN
V =	133	kN

Tabella 20: Massimo valore di taglio e corrispondente valore di sforzo assiale

Scarichi pali – Pila IV01 (2)		
N =	1232	kN
V =	121	kN

Tabella 21: Minimo valore di sforzo assiale e il corrispondente valore di taglio

Si nota che con il massimo valore di sforzo assiale (Tabella 19) si esegue la verifica a capacità portante, mentre con le combinazioni riportate in Tabella 20 e Tabella 21 si esegue la verifica a carico orizzontale.

### 5.1.5 Scarichi per spalla VI02

Per la verifica a scalzamento si devono considerare gli scarichi sui singoli pali prodotti dalla combinazione eccezionale G1+G2+0.8Q.

A scopo cautelativo ed in favore di sicurezza si considerano gli scarichi derivanti dalla la combinazione di carico SLERARA:

SOLL. TOTALI NEL BARICENTRO DELLA PALIFICATA								
C.C.	N	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	N <sub>max/palo</sub>	N <sub>min/palo</sub>	T <sub>palo</sub>
n°	kN	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN
SLE rara - N max gr.1	33613	4570	257	2259	17173	3328	2274	381
SLE rara - MT max gr.1	31733	4143	257	2259	7540	2904	2385	346
SLE rara - ML max gr.1	31733	4143	257	2259	7540	2904	2385	346
SLE rara - N max gr.3	33613	4914	257	2259	20394	3418	2184	410
SLE rara - MT max gr.3	31733	4143	257	2259	7540	2904	2385	346
SLE rara - ML max gr.3	31733	4143	257	2259	7540	2904	2385	346
SLE rara - Vento ponte scarico	31733	4086	159	1345	7126	2872	2417	341

Tabella 22 – Sollecitazioni massime sul singolo palo C.C. SLE

Si considerano le seguenti combinazioni di sollecitazioni:

N =	3418 kN
-----	---------

Tabella 23: Massimo valore di sforzo assiale

Scarichi pali – Spalla VI02 (1)		
N =	2184	kN
V =	410	kN

**Tabella 24: Massimo valore di taglio e corrispondente valore di sforzo assiale**

Scarichi pali – Spalla VI02 (2)		
N =	2184	kN
V =	410	kN

**Tabella 25: Minimo valore di sforzo assiale e il corrispondente valore di taglio**

Si nota che con il massimo valore di sforzo assiale (Tabella 23) si esegue la verifica a capacità portante, mentre con le combinazioni riportate in Tabella 24 e Tabella 25 si esegue la verifica a carico orizzontale. In questo caso specifico, confrontando le combinazioni considerate per la verifica a carico orizzontale (Tabella 24 e Tabella 25), si evince che le due risultano uguali, per cui si esegue una sola verifica.

## 5.2 Verifica a capacità portante

La capacità portante dei pali delle opere è stata valutata con riferimento a quota testa palo a 3 m da p.c. e con la stratigrafia riportata al capitolo 4. Di seguito sono riportate le verifiche per ogni singola opera:

- SL05

N = 2590 kN

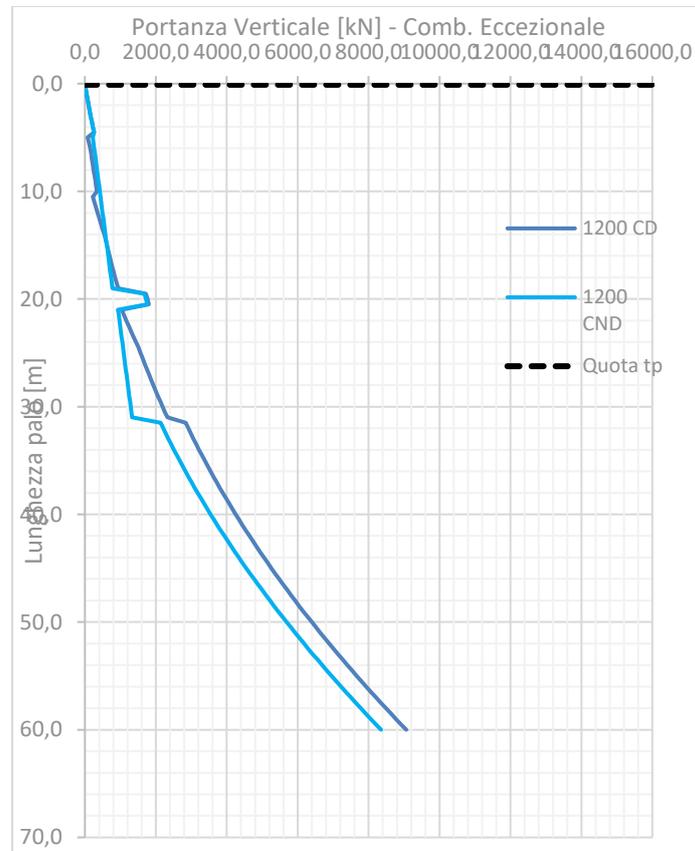


Figura 1: Curva di capacità per scalzamento SL05

Dalle curve di capacità per scalzamento, in corrispondenza del carico verticale da combinazione Rara, si ottiene una lunghezza del palo pari a:

D (m)	Ls (m)
1.2	35

La lunghezza del palo calcolata precedentemente con le curve di capacità in assenza di scalzamento aveva fornito la seguente lunghezza del palo:

D (m)	L (m)
1.2	39

Dal confronto tra le due lunghezze ottenute, la verifica a scalzamento si considera soddisfatta, avendo previsto una lunghezza di progetto dei pali pari a 39 m.

### 5.2.1 Spalla NW01

N = 3154 kN

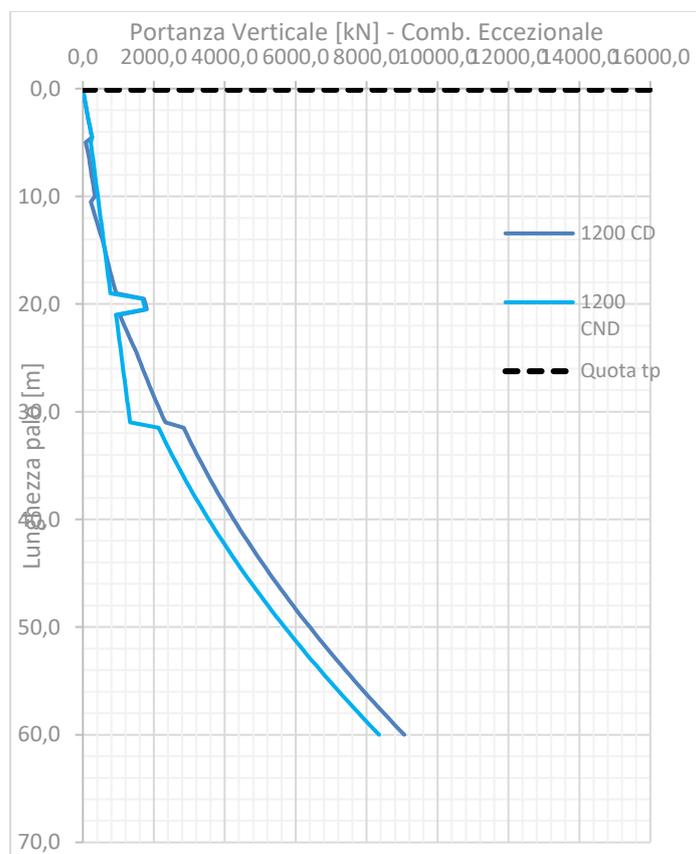


Figura 2: Curva di capacità per scalzamento NW01

Dalle curve di capacità per scalzamento, in corrispondenza del carico verticale da combinazione Rara, si ottiene una lunghezza del palo pari a:

D (m)	Ls (m)
1.2	38

La lunghezza del palo calcolata precedentemente con le curve di capacità in assenza di scalzamento aveva fornito la seguente lunghezza del palo:

D (m)	L (m)
1.2	44

Dal confronto tra le due lunghezze ottenute, la verifica a scalzamento si considera soddisfatta, avendo previsto una lunghezza di progetto dei pali pari a 44 m.

### 5.2.2 Spalla IV01

$N = 2780 \text{ kN}$

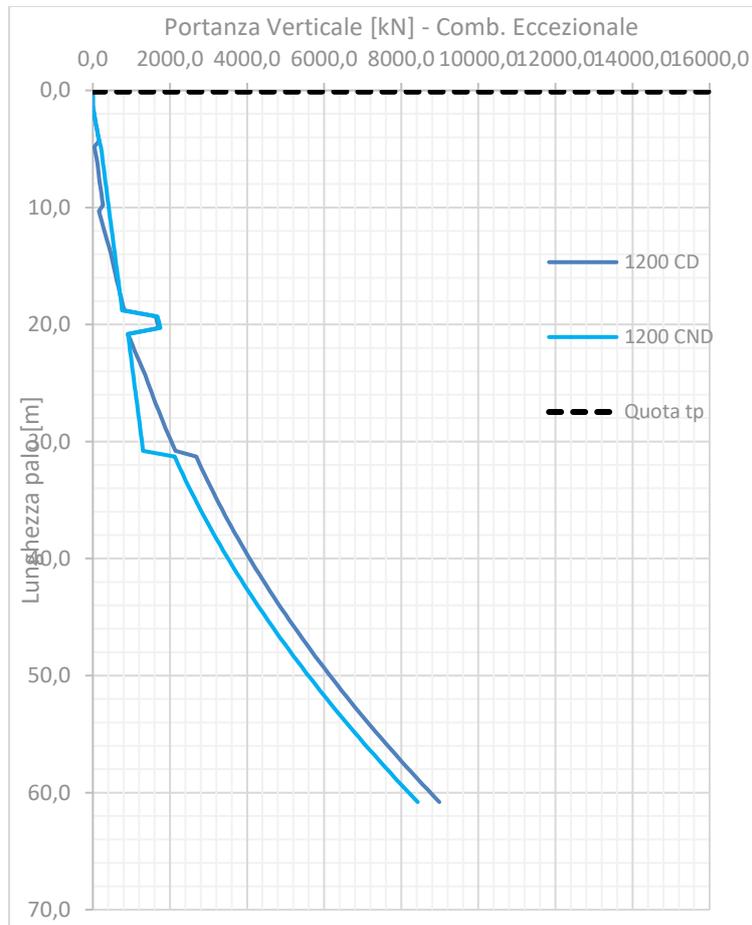


Figura 3: Curva di capacità per scalzamento spalla IV01

Dalle curve di capacità per scalzamento, in corrispondenza del carico verticale da combinazione Rara, si ottiene una lunghezza del palo pari a:

D (m)	Ls (m)
1.2	36

La lunghezza del palo calcolata precedentemente con le curve di capacità in assenza di scalzamento aveva fornito la seguente lunghezza del palo:

D (m)	L (m)
1.2	41

Dal confronto tra le due lunghezze ottenute, la verifica a scalzamento si considera soddisfatta, avendo previsto una lunghezza di progetto dei pali pari a 41 m.

### 5.2.3 Pila IV01

N = 2907 kN

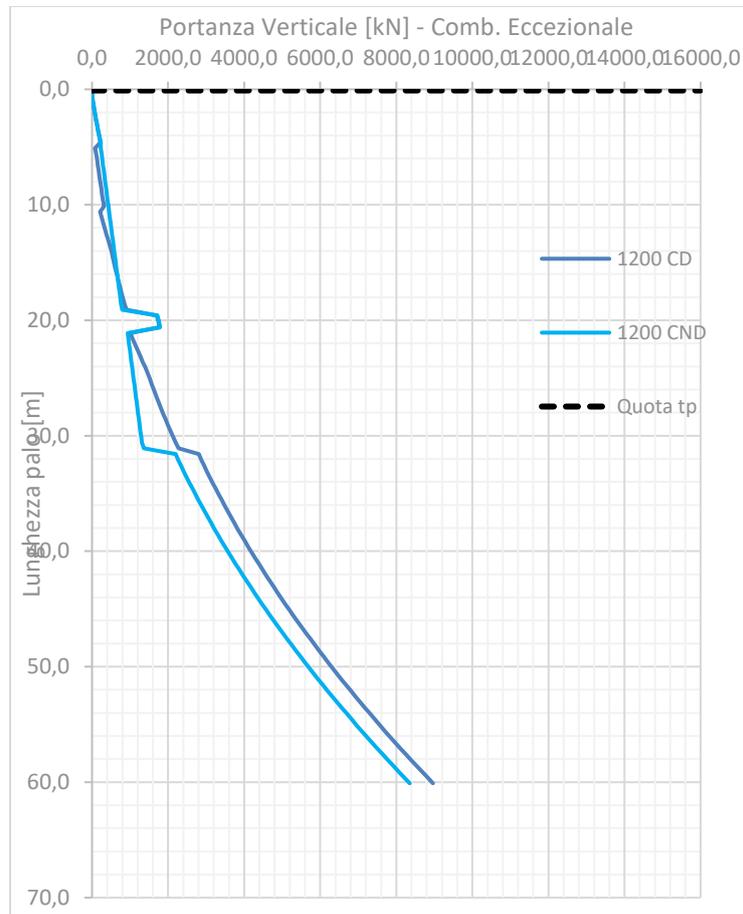


Figura 4: Curva di capacità per scalzamento pila IV01

Dalle curve di capacità per scalzamento, in corrispondenza del carico verticale da combinazione Rara, si ottiene una lunghezza del palo pari a:

D (m)	Ls (m)
1.2	37

La lunghezza del palo calcolata precedentemente con le curve di capacità in assenza di scalzamento aveva fornito la seguente lunghezza del palo:

D (m)	L (m)
1.2	47

Dal confronto tra le due lunghezze ottenute, la verifica a scalzamento si considera soddisfatta, avendo previsto una lunghezza di progetto dei pali pari a 47 m.

#### 5.2.4 Spalla VI02

N = 3418 kN

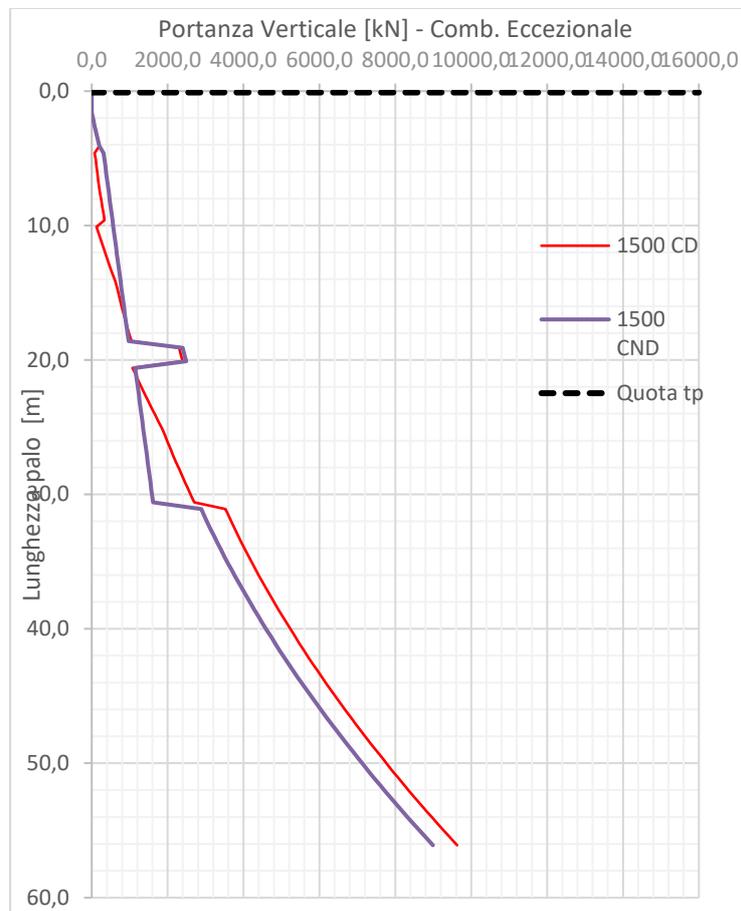


Figura 5: Curva di capacità per scalzamento spalla VI02

Dalle curve di capacità per scalzamento, in corrispondenza del carico verticale da combinazione Rara, si ottiene una lunghezza del palo pari a:

D (m)	Ls (m)
1.5	35

La lunghezza del palo calcolata precedentemente con le curve di capacità in assenza di scalzamento aveva fornito la seguente lunghezza del palo:

D (m)	L (m)
1.5	41

Dal confronto tra le due lunghezze ottenute, la verifica a scalzamento si considera soddisfatta, avendo previsto una lunghezza di progetto dei pali pari a 41 m.

### 5.3 Verifica a carico orizzontale

#### 5.3.1 Metodologie di calcolo analisi a carico limite orizzontale in presenza di scalzamento

Per la verifica del carico limite orizzontale per i pali di fondazione con un tratto di palo scalzato, la teoria di Broms resta applicabile, ma non sono più utilizzabili le soluzioni semplificate, disponibili in forma chiusa e/o con abachi adimensionali. Quindi per questi casi, è stata eseguita una apposita verifica con programma FEM non lineare, considerando nello spessore di terreno scalzato una pressione orizzontale limite nulla e negli altri strati di terreno curve P-Y non lineari, definibili lungo il fusto del palo e resistenze variabili. Per terreni incoerenti, la pressione orizzontale limite viene valutata:  $P = N\phi \cdot k_p \cdot \sigma'v$ ; dove  $k_p$  è il coefficiente di spinta passiva del terreno,  $N\phi$  è assunto pari a 3 (Broms, 1964) in accordo ad osservazioni sperimentali in terreni con angoli di restenza al taglio compresi tra 30 e 40°. Per terreni coesivi la pressione orizzontale limite viene valutata:  $P = Np \cdot cu \cdot D$ ; dove  $Np = 9$  (Broms 1964 ed anche Matlock 1970), cu resistenza al taglio non drenata. La legge P-Y di mobilitazione non lineare, di tipo iperbolico (Matrock, 1970), meglio descrive il comportamento dei terreni in esame.

Il palo, in testa è stato vincolato alla rotazione ( $\phi=0$  rotazione impedita) e viene applicato a testa palo, un carico orizzontale (H) via via incrementato, mobilitando man mano la resistenza laterale disponibile fino a raggiungere il momento di prima plasticizzazione della sezione lungo il palo.

Quindi nel seguito sono riportate le verifiche a carico limite orizzontale per le palificate in presenza di scalzamento:

- Pile IV01 con spessore scalzamento 0.60 m da testa palo (D=1200mm, L=47.0m) associato a taglio massimo  $T_{sle,rara} = 133$  kN;
- Spalle IV01 con spessore scalzamento 1.30 m da testa palo (D=1200mm, L=41.0m) associato a taglio massimo  $T_{sle,rara} = 148$  kN;
- Spalle VI02 con spessore scalzamento 1.60 m da testa palo (D=1500mm, L=41.0m) associato a taglio massimo  $T_{sle,rara} = 410$  kN.

La verifica a carico limite orizzontale consiste quindi nel verificare che il massimo carico orizzontale ( $V_{dp}$ ) sia inferiore al limite di progetto ( $H_d$ ), così valutato:

$$H_d = H_k / (\xi_3 \cdot \gamma_T) \geq V_{pd}$$

dove:

$H_k$  = valore limite in funzione del meccanismo attivato valutato con teoria di Broms;

$\xi_3$  = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;

$\gamma_T$  = fattore parziale per pali soggetti a carichi orizzontali.

$V_{pd}$  = massima sollecitazione orizzontale di progetto.

In particolare il fattore di sicurezza di normativa per la verifica a carico orizzontale è  $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.70 = 2.21$ . Inoltre per le verifiche a carico limite orizzontale si considera cautelativamente un coefficiente di gruppo (0.8), includendo anche il fattore di effetto gruppo si ha  $FS_g = 2.76$ .

#### 5.3.2 Scatolare SL05

Vengono eseguite le verifiche a carico limite orizzontale in due differenti condizioni:

- Verifica in condizioni drenate;
- Verifica in condizioni non drenate;

La verifica a carico orizzontale è eseguita con il massimo valore di taglio in testa al palo e il valore di taglio valutato in corrispondenza del minimo valore di sforzo assiale calcolato dalla combinazione rara (vedi Tabella 8 e Tabella 9). In tal caso i due gruppi di sollecitazione risultano uguali e si esegue una sola verifica:

$$V = 218 \text{ kN}$$

Nel caso dello scatolare SL05, la profondità di scalzamento è pari a 2,65 m. Tale profondità è inferiore a quella considerata in corrispondenza della testa del palo (3.00 m), quindi in fase di verifica la stratigrafia del terreno a contatto con il palo non subisce modifiche. Si eseguono comunque le verifiche dei pali in condizioni drenate e non drenate con i carichi ottenuti dalle combinazioni SLE rare.

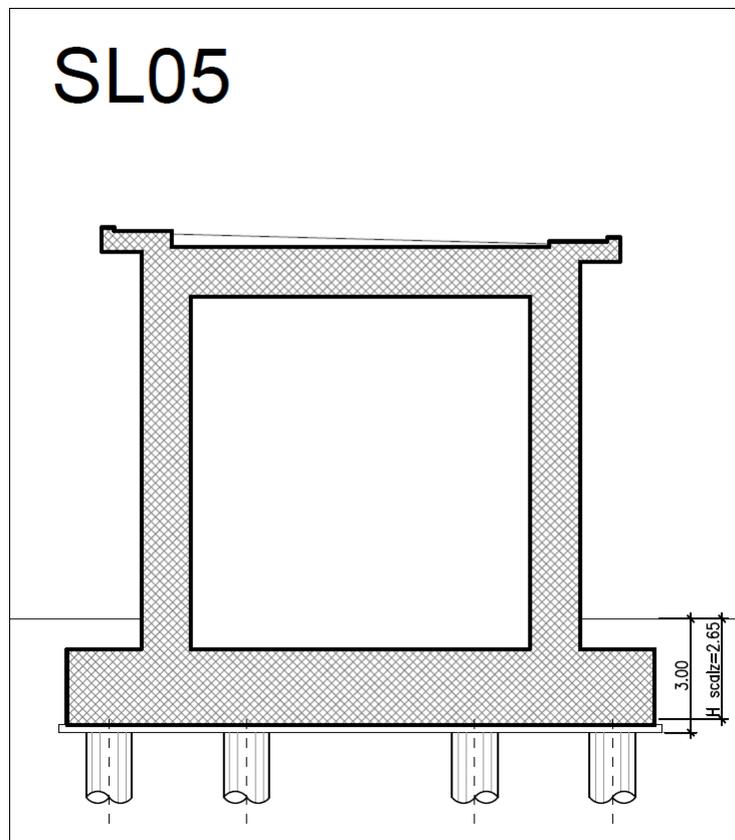


Figura 6: Profondità di scalzamento SL05

Verifica in condizioni drenate

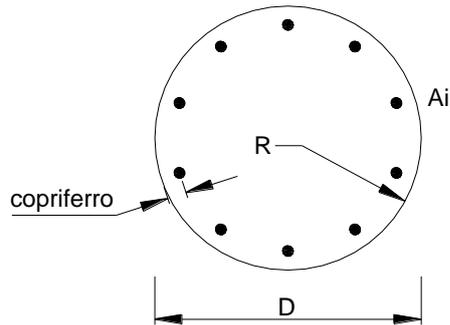
**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

Diametro = 1200 (mm)  
 Raggio = 600 (mm)  
 Sforzo Normale = 2010 (kN)

**Caratteristiche dei Materiali**

calcestruzzo

Rck = 30 (Mpa)  
 fck = 25 (Mpa)  
 $\gamma_c = 1.5$   
 $\alpha_{cc} = 0.85$



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

**Acciaio**

tipo di acciaio

f<sub>yk</sub> = 450 (Mpa)  
 $\gamma_s = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / \gamma_E = 391.3$  (Mpa)  
 E<sub>s</sub> = 210000 (Mpa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.186\%$   
 $\epsilon_{uk} = 10.000\%$

**Armature**

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
30	φ 26	15927.87	95
0	φ 26	0.00	0
0	φ 20	0.00	0

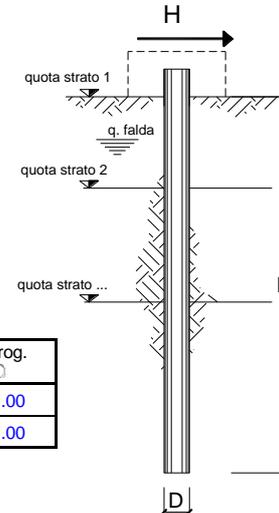
calcolo

**Momento di Plasticizzazione**

My = 3204.6 (kN m)

opera

coefficienti parziali Metodo di calcolo			A		M		R	
			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_{\phi'}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$	
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.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Parametri medi			Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)	
p.c.=strato 1	U1	100.00	18.5	8.5	30	3.00		30	3.00		
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	U2	87.50	19.5	9.5	31	3.12		31	3.12		
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	U2a	83.00	19	9	23	2.28		23	2.28		
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	U2	66.00	19.5	9.5	31	3.12		31	3.12		
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00			1.00		
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00			1.00		

Quota falda 98 (m)  
 Diametro del palo D 1.20 (m)  
 Lunghezza del palo L 39.00 (m)  
 Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  3204.61 (kNm)  
 Step di calcolo 0.2 (m)

palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(ctrl+r)

	H medio		H minimo	
Palo lungo	1963.5	(kN)	1963.5	(kN)
Palo intermedio	20200.4	(kN)	20200.4	(kN)
Palo corto	70865.0	(kN)	70865.0	(kN)
<b>H<sub>med</sub></b>	<b>1963.5</b>	<b>(kN)</b>	<b>H<sub>min</sub></b>	<b>1963.5 (kN) Palo lungo</b>

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 1155.02 \text{ (kN)}$$

**EFFICIENZA E del gruppo di pali**

$$H_d = E \cdot H_k \cdot \gamma_T = 0.80$$

$$H_d = 710.78 \text{ (kN)}$$

Carico Assiale Permanente (G): G = 218 (kN)  
 Carico Assiale variabile (Q): Q = 0 (kN)

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 218.00 \text{ (kN)}$$

$$FS = H_d / F_d = 3.26$$

Verifica in condizioni non drenate

**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

Diametro = 1200 (mm)  
Raggio = 600 (mm)  
Sforzo Normale = 2010 (kN)

**Caratteristiche dei Materiali**

calcestruzzo

Rck = 30 (Mpa)

fck = 25 (Mpa)

$\gamma_c$  = 1.5

$\alpha_{cc}$  = 0.85

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

**Acciaio**

tipo di acciaio

$f_{yk}$  = 450 (Mpa)

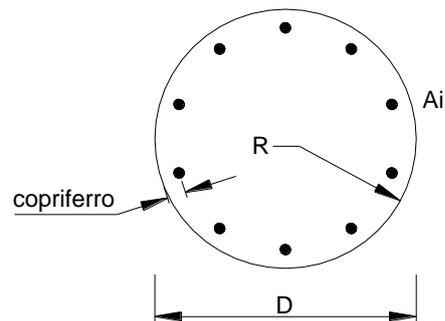
$\gamma_s$  = 1.15

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

$E_s$  = 210000 (Mpa)

$\epsilon_{ys}$  = 0.186%

$\epsilon_{uk}$  = 10.000%



**Armature**

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
30	$\phi$ 26	15927.87	95
0	$\phi$ 26	0.00	0
0	$\phi$ 0	0.00	

calcolo

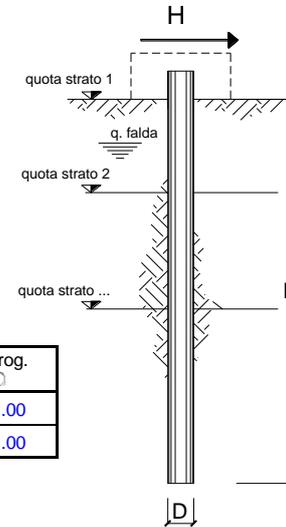
**Momento di Plasticizzazione**

$M_y = 3204.6$  (kN m)

Inserisci

opera

coefficienti parziali			A		M		R	
Metodo di calcolo			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_\psi$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$	
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.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1	U1	100.00	18.5	8.5	30	3.00		30	3.00	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	U2	87.50	19.5	9.5	31	3.12		31	3.12	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	U2a	83.00	19	9	23	2.28	130	23	2.28	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	U2	66.00	19.5	9.5	31	3.12		31	3.12	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00			1.00	

Quota falda 98 (m)  
 Diametro del palo D 1.20 (m)  
 Lunghezza del palo L 39.00 (m)  
 Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  3204.61 (kNm)  
 Step di calcolo 0.2 (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	1963.5 (kN)		1963.5 (kN)	
Palo intermedio	19025.5 (kN)		20200.4 (kN)	
Palo corto	60437.5 (kN)		70865.0 (kN)	
	<b>H<sub>med</sub> 1963.5 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub> 1963.5 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 1155.02 \text{ (kN)}$$

**EFFICIENZA E del gruppo di pali**

$$H_d = E \cdot H_k / \gamma_T = 0.80$$

$$H_d = 710.78 \text{ (kN)}$$

Carico Assiale Permanente (G): G = 218 (kN)  
 Carico Assiale variabile (Q): Q = 0 (kN)

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 218.00 \text{ (kN)}$$

$$FS = H_d / F_d = 3.26$$

### 5.3.3 Spalla NW01

Vengono eseguite le verifiche a carico limite orizzontale in due differenti condizioni:

- Verifica in condizioni drenate;
- Verifica in condizioni non drenate;

La verifica a carico orizzontale è eseguita con il massimo valore di taglio in testa al palo e il valore di taglio valutato in corrispondenza del minimo valore di sforzo assiale calcolato dalla combinazione rara (vedi Tabella 12 e Tabella 13) :

$$V = 529 \text{ kN}$$

$$V = 462 \text{ kN}$$

Nel caso della spalla NW01, la profondità di scalzamento è pari a 2,65 m. Tale profondità è inferiore a quella considerata in corrispondenza della testa del palo (3 metri), quindi in fase di verifica la stratigrafia del terreno a contatto con il palo non subisce modifiche. Si eseguono comunque le verifiche dei pali in condizioni drenate e non drenate con i carichi ottenuti dalle combinazioni SLE rare.

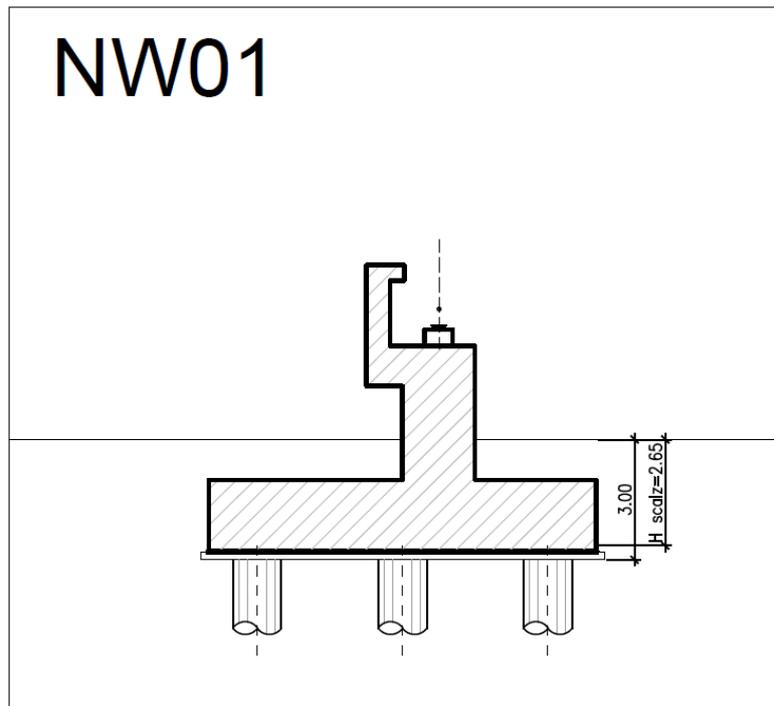


Figura 7: Profondità di scalzamento NW01

Verifica in condizioni drenate (I)

**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

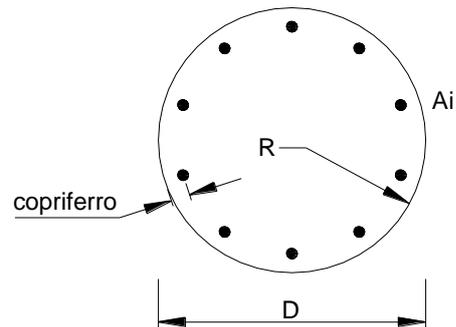
Diametro = 1200 (mm)  
 Raggio = 600 (mm)  
 Sforzo Normale = 3120 (kN)

**Caratteristiche dei Materiali**

calcestruzzo

Rck = 30 (Mpa)  
 fck = 25 (Mpa)  
 $\gamma_C = 1.5$   
 $\alpha_{cc} = 0.85$

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



**Acciaio**

tipo di acciaio

$f_{yk} = 450$  (Mpa)  
 $\gamma_S = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S / \gamma_E = 391.3$  (Mpa)  
 $E_s = 210000$  (Mpa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.186\%$   
 $\epsilon_{uk} = 10.000\%$

**Armature**

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
38	26	20175.31	95
20	26	10618.58	147
0	0	0.00	0

calcolo

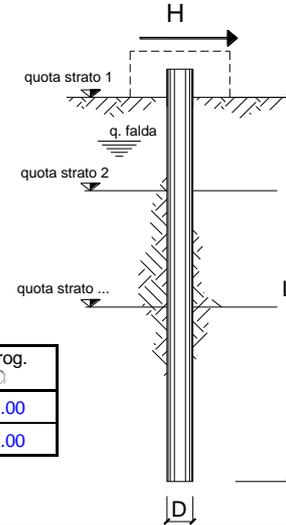
**Momento di Plasticizzazione**

$M_y = 5130.1$  (kN m)

Inserisci

opera

coefficienti parziali			A		M		R	
Metodo di calcolo			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_{\phi'}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$	
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.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1	U1	100.00	18.5	8.5	28	2.77		28	2.77	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	U1a	95.50	19	9	21	2.12		21	2.12	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	U2a	90.00	19.5	9.5	20	2.04		20	2.04	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	U2	81.00	19.5	9.5	29	2.88		29	2.88	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 5	U2a	79.50	19.5	9.5	20	2.04		20	2.04	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 6	U2	75.00	19.5	9.5	29	2.88		29	2.88	

Quota falda 98 (m)  
 Diametro del palo D 1.20 (m)  
 Lunghezza del palo L 44.00 (m)  
 Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  5130.11 (kNm)  
 Step di calcolo 0.2 (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	2618.0 (kN)		2618.0 (kN)	
Palo intermedio	7754.5 (kN)		7754.5 (kN)	
Palo corto	25661.7 (kN)		25661.7 (kN)	
	<b>H<sub>med</sub> 2618.0 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub> 2618.0 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>

$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$  1540.01 (kN)  
 EFFICIENZA E del gruppo di pali 0.80  
 $H_d = E \cdot H_k / \gamma_T$  947.70 (kN)

Carico Assiale Permanente (G): G = 529 (kN)  
 Carico Assiale variabile (Q): Q = 0 (kN)

$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 529.00$  (kN)

$FS = H_d / F_d = 1.79$

Verifica in condizioni non drenate (1)

**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

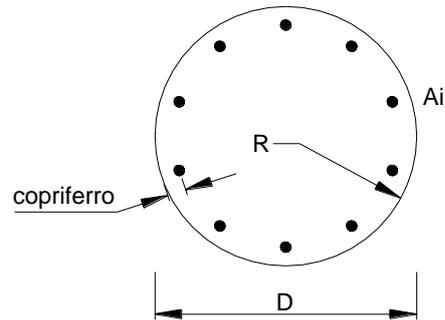
Diametro = 1200 (mm)  
 Raggio = 600 (mm)  
 Sforzo Normale = 3120 (kN)

**Caratteristiche dei Materiali**

calcestruzzo

Rck = 30 (Mpa)  
 fck = 25 (Mpa)  
 $\gamma_c = 1.5$   
 $\alpha_{cc} = 0.85$

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



**Acciaio**

tipo di acciaio

fyk = 450 (Mpa)  
 $\gamma_s = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / \gamma_E = 391.3$  (Mpa)

Es = 210000 (Mpa)

$\epsilon_{ys} = 0.186\%$   
 $\epsilon_{uk} = 10.000\%$

**Armature**

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
38	φ 26	20175.31	95
20	φ 26	10618.58	147
0	φ 0	0.00	0

calcolo

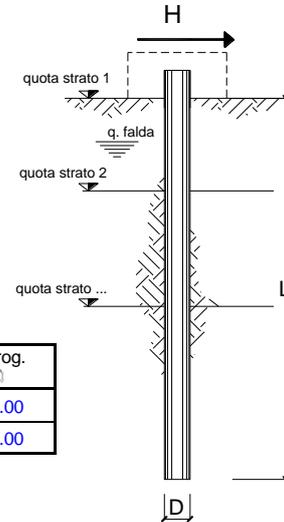
**Momento di Plasticizzazione**

My = 5130.1 (kN m)

Inserisci

opera

coefficienti parziali Metodo di calcolo			A		M		R
			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_{\varphi}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
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.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\varphi$ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\varphi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1	U1	100.00	18.5	8.5	28	2.77		28	2.77	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	U1a	95.50	19	9	21	2.12	45	21	2.12	45
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	U2a	90.00	19.5	9.5	20	2.04	40	20	2.04	40
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	U2	81.00	19.5	9.5	29	2.88		29	2.88	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 5	U2a	79.50	19.5	9.5	20	2.04	40	20	2.04	40
<input checked="" type="checkbox"/> strato 6	U2	75.00	19.5	9.5	29	2.88		29	2.88	

Quota falda 98 (m)  
 Diametro del palo D 1.20 (m)  
 Lunghezza del palo L 44.00 (m)  
 Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  5130.11 (kNm)  
 Step di calcolo 0.2 (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(ctrl+r)

	H medio		H minimo	
Palo lungo	2558.5	(kN)	2558.5	(kN)
Palo intermedio	4957.0	(kN)	4957.0	(kN)
Palo corto	13179.6	(kN)	13179.6	(kN)
$H_{med}$	2558.5	(kN)	$H_{min}$	2558.5 (kN) Palo lungo

$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$  1505.02 (kN)  
 EFFICIENZA E del gruppo di pali 0.80  
 $H_d = E \cdot H_k \cdot \gamma_T$  926.17 (kN)

Carico Assiale Permanente (G): G = 529 (kN)  
 Carico Assiale variabile (Q): Q = 0 (kN)

$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 529.00$  (kN)

$FS = H_d / F_d = 1.75$

Verifica in condizioni drenate (2)

**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

Diametro = 1200 (mm)  
 Raggio = 600 (mm)  
 Sforzo Normale = 239 (kN)

**Caratteristiche dei Materiali**

calcestruzzo

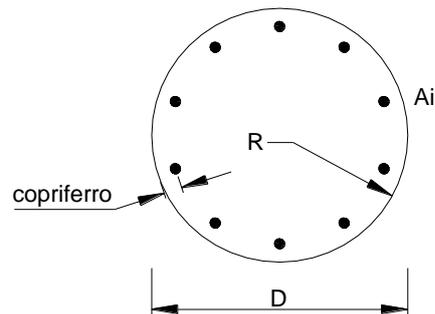
Rck = 30 (Mpa)  
 fck = 25 (Mpa)  
 $\gamma_c = 1.5$   
 $\alpha_{cc} = 0.85$

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

**Acciaio**

tipo di acciaio

$f_{yk} = 450$  (Mpa)  
 $\gamma_s = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / \gamma_E = 391.3$  (Mpa)  
 $E_s = 210000$  (Mpa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.186\%$   
 $\epsilon_{uk} = 10.000\%$



**Armature**

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
38	φ 26	20175.31	95
20	φ 26	10618.58	147
0	φ 0	0.00	0

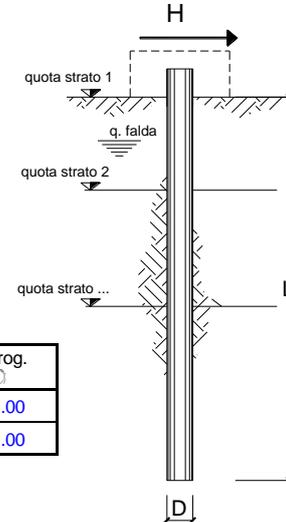
calcolo

**Momento di Plasticizzazione**

$M_y = 4666.1$  (kN m)

opera

coefficienti parziali			A		M		R
Metodo di calcolo			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_\psi$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
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	1.30



n	1	2	3	4	5	7	10	T.A.	prog.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1	U1	100.00	18.5	8.5	28	2.77		28	2.77	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	U1a	95.50	19	9	21	2.12		21	2.12	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	U2a	90.00	19.5	9.5	20	2.04		20	2.04	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	U2	81.00	19.5	9.5	29	2.88		29	2.88	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 5	U2a	79.50	19.5	9.5	20	2.04		20	2.04	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 6	U2	75.00	19.5	9.5	29	2.88		29	2.88	

Quota falda 98 (m)  
 Diametro del palo D 1.20 (m)  
 Lunghezza del palo L 44.00 (m)  
 Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  4666.10 (kNm)  
 Step di calcolo 0.2 (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	2504.3 (kN)		2504.3 (kN)	
Palo intermedio	7754.5 (kN)		7754.5 (kN)	
Palo corto	25661.7 (kN)		25661.7 (kN)	
	<b>H<sub>med</sub> 2504.3 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub> 2504.3 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>

$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$  1473.15 (kN)  
 EFFICIENZA E del gruppo di pali 0.80  
 $H_d = E \cdot H_k / \gamma_T$  906.55 (kN)

Carico Assiale Permanente (G): G = 462 (kN)  
 Carico Assiale variabile (Q): Q = 0 (kN)

$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 462.00 (kN)$

$FS = H_d / F_d = 1.96$

Verifica in condizioni non drenate (2)

**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

Diametro = 1200 (mm)  
Raggio = 600 (mm)  
Sforzo Normale = 239 (kN)

**Caratteristiche dei Materiali**

calcestruzzo

Rck = 30 (Mpa)

fck = 25 (Mpa)

$\gamma_c$  = 1.5

$\alpha_{cc}$  = 0.85

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

**Acciaio**

tipo di acciaio

f<sub>yk</sub> = 450 (Mpa)

$\gamma_s$  = 1.15

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

E<sub>s</sub> = 210000 (Mpa)

$\epsilon_{ys}$  = 0.186%

$\epsilon_{uk}$  = 10.000%

**Armature**

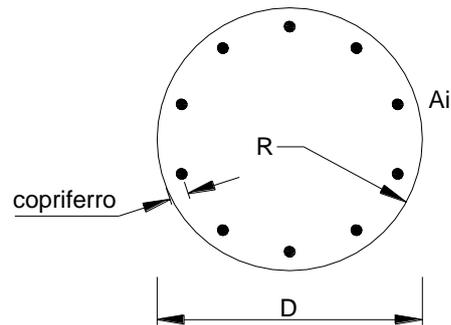
numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
38	φ 26	20175.31	95
20	φ 26	10618.58	147
0	φ 0	0.00	0

calcolo

**Momento di Plasticizzazione**

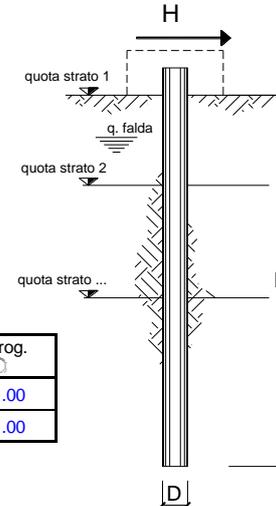
M<sub>y</sub> = 4666.1 (kN m)

Inserisci



**opera**

coefficienti parziali Metodo di calcolo			A		M		R
			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_{\phi'}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
S.L.U.	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
definiti dal progettista			<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00



n	1	2	3	4	5	7	?10	T.A.	prog.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1	U1	100.00	18.5	8.5	28	2.77		28	2.77	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	U1a	95.50	19	9	21	2.12	45	21	2.12	45
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	U2a	90.00	19.5	9.5	20	2.04	40	20	2.04	40
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	U2	81.00	19.5	9.5	29	2.88		29	2.88	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 5	U2a	79.50	19.5	9.5	20	2.04	40	20	2.04	40
<input checked="" type="checkbox"/> strato 6	U2	75.00	19.5	9.5	29	2.88		29	2.88	

Quota falda 98 (m)  
 Diametro del palo D 1.20 (m)  
 Lunghezza del palo L 44.00 (m)  
 Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  4666.10 (kNm)  
 Step di calcolo 0.2 (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(ctrl+r)

	<b>H medio</b>		<b>H minimo</b>	
Palo lungo	2463.1	(kN)	2463.1	(kN)
Palo intermedio	4957.0	(kN)	4957.0	(kN)
Palo corto	13179.6	(kN)	13179.6	(kN)
<b><math>H_{med}</math></b>	<b>2463.1</b>	<b>(kN)</b>	<b><math>H_{min}</math></b>	<b>2463.1 (kN) Palo lungo</b>
<b><math>H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)</math></b>			1448.86	(kN)
<b>EFFICIENZA E del gruppo di pali</b>			0.80	
<b><math>H_d = E \cdot H_k / \gamma_T</math></b>			<b>891.61</b>	<b>(kN)</b>

Carico Assiale Permanente (G): G = 462 (kN)  
 Carico Assiale variabile (Q): Q = 0 (kN)

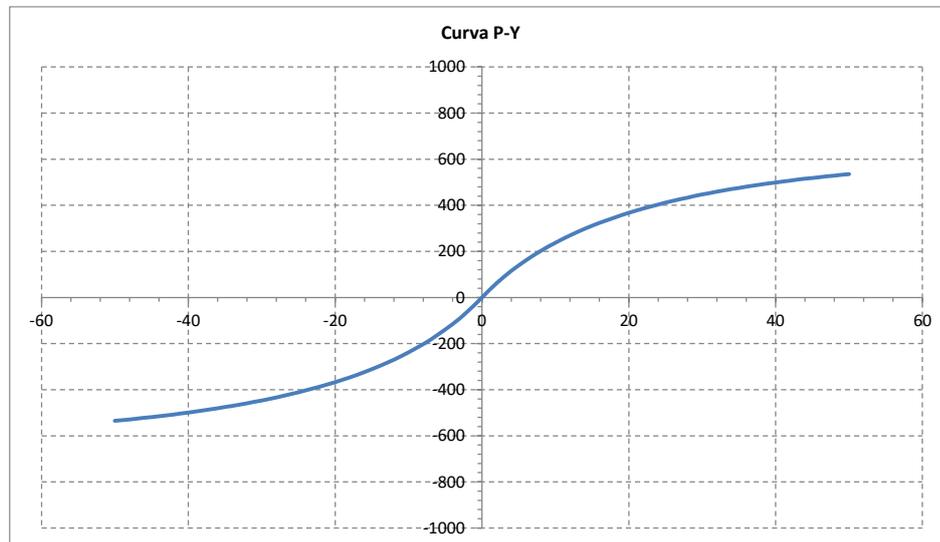
**$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 462.00 (kN)$**

**$FS = H_d / F_d = 1.93$**

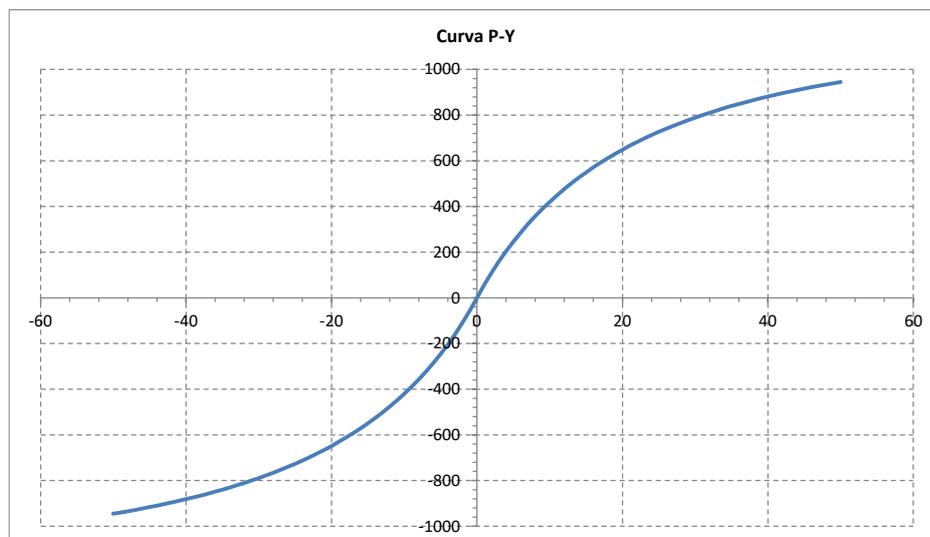
### 5.3.4 Spalla IV01

In *Figura 8* e *Figura 9* in sono mostrate le curve P-Y con cui è stato modellato il palo di lunghezza 41.0 m suddividendolo in conci di 0.50 m; in particolare si riporta la curva P-Y alle generiche quote di 10 e 20 m da testa palo. In *Figura 10* è mostrato l'andamento lungo il palo delle pressioni orizzontali mobilitate e della pressione limite. In *Figura 11* è mostrato l'andamento del taglio massimo ed in *Figura 12* l'andamento del momento lungo il palo in presenza di scalzamento. Il momento massimo a testa palo è 1540 kNm. L'armatura del palo di progetto (36 $\phi$ 26) è tale da avere un momento di plasticizzazione (vedasi Tabella 26) maggiore del momento massimo come si evince da *Figura 12*.

Le verifiche a carico limite orizzontale per le palificate in presenza di scalzamento sono soddisfatte, in quanto risulta sempre la massima azione di taglio di progetto inferiore all'azione di taglio resistente ( $V_{pd} = 148 \text{ kN} \leq H_d = H_k / FS_g = 410 / 2.76 \text{ kN}$ ).



*Figura 8: curva P-Y a quota 10 m da testa palo - IV01 spalla con scalzamento*



*Figura 9: curva P-Y a quota 20 m da testa palo - IV01 spalla con scalzamento*

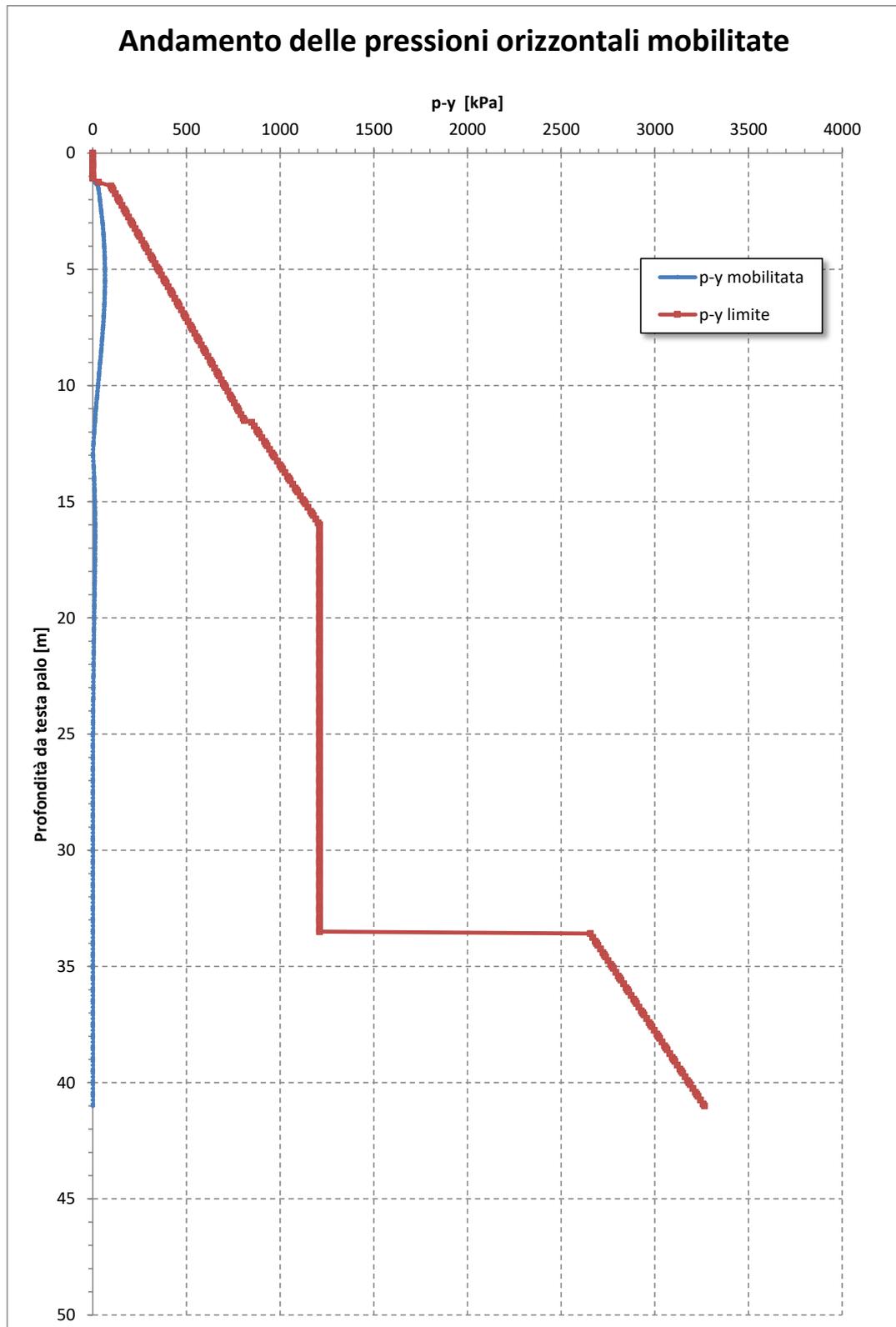


Figura 10 – Andamento pressioni orizzontali - - IV01 spalla con scalzamento

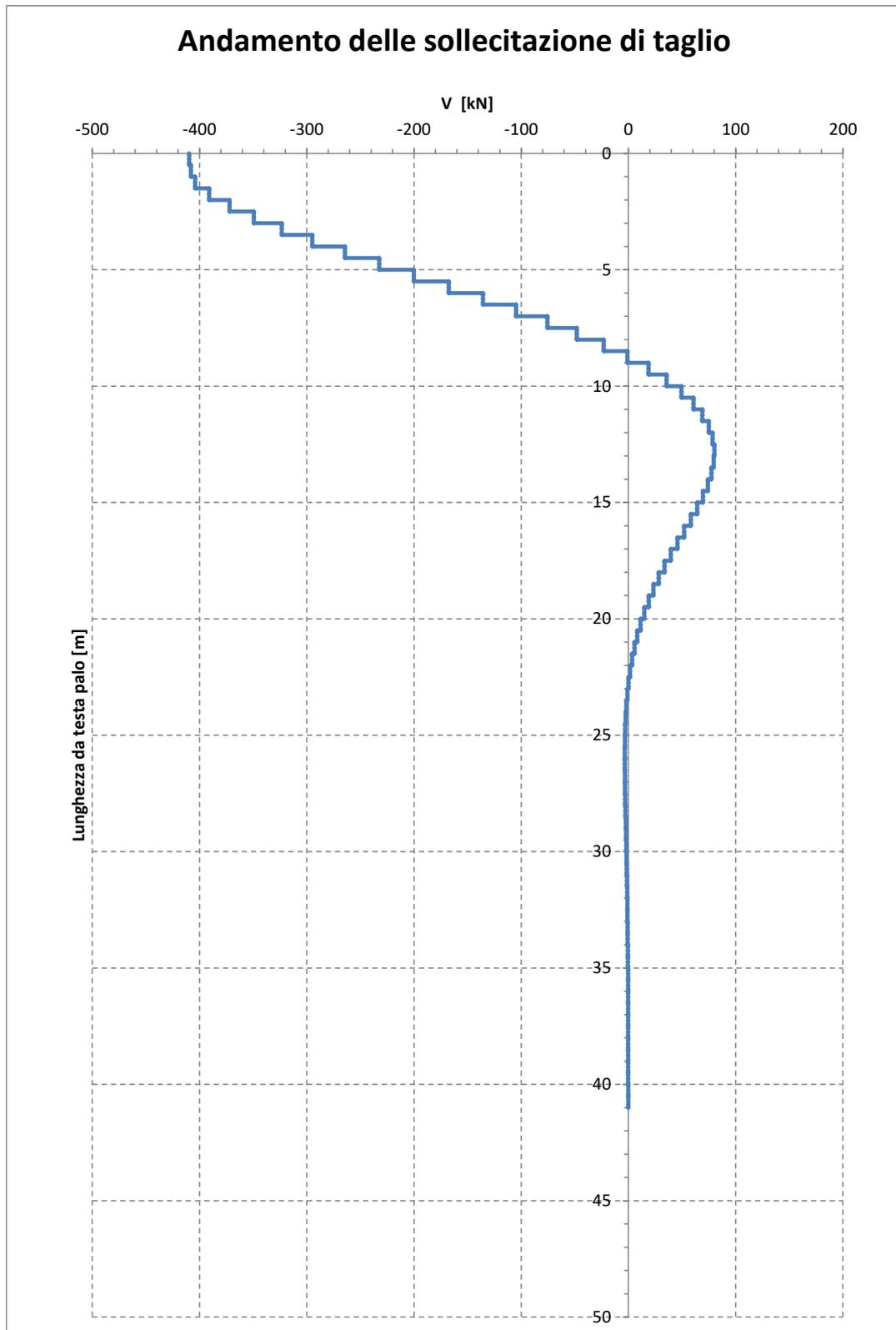


Figura 11 – Andamento del taglio lungo il palo - IV01 spalla con scalzamento

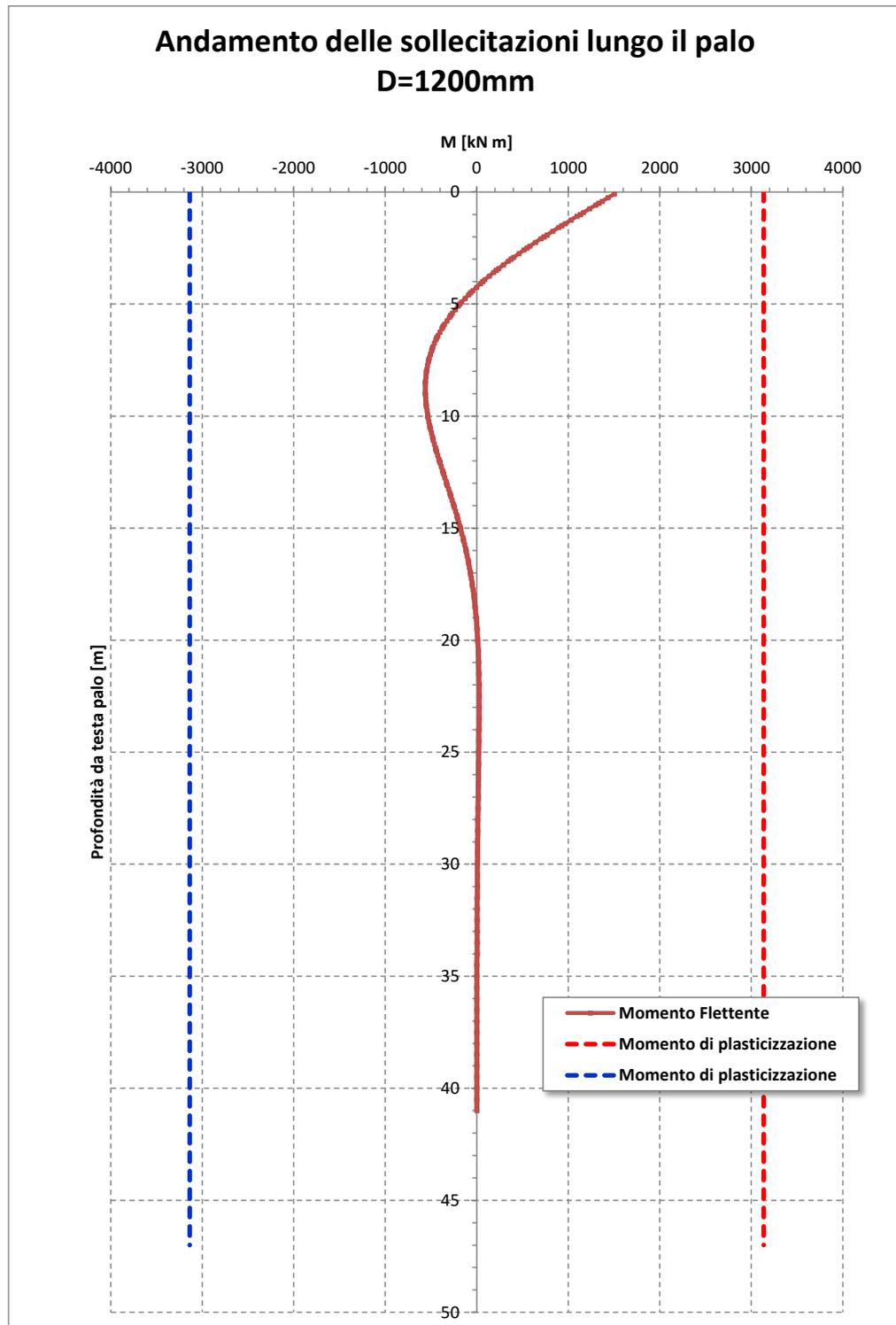


Figura 12 – Andamento del momento lungo il palo - IV01 spalla con scalzamento

**Tabella 26 – Momento adimensionale palo D=1200mm IV01**

**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

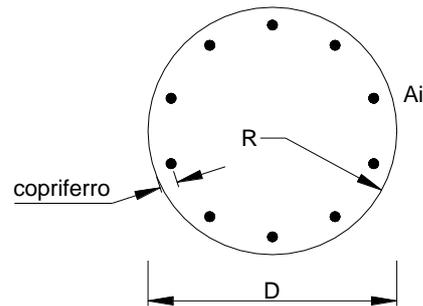
Diametro = 1200 (mm)  
 Raggio = 600 (mm)  
 Sforzo Normale = 0 (kN)

**Caratteristiche dei Materiali**

calcestruzzo

Rck = 30 (Mpa)  
 fck = 25 (Mpa)  
 $\gamma_c = 1.5$   
 $\alpha_{cc} = 0.85$

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



**Acciaio**

tipo di acciaio

$f_{yk} = 450$  (Mpa)  
 $\gamma_s = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3$  (Mpa)  
 $E_s = 210000$  (Mpa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.186\%$   
 $\epsilon_{uk} = 10.000\%$

**Armature**

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
36	$\phi$ 26	19113	95
0	$\phi$ 0	0	0
0	$\phi$ 0	0	0

Calcolo

**Momento di Plasticizzazione**

**My = 3136.3 (kN m)**

Inserisci

(\* ) cautelativamente il momento di plasticizzazione è stato associato a sollecitazione assiale nulla ( $N=0$  kN); per la condizione di carico di scalzamento non si ha trazione.

### 5.3.5 Pila IV01

In *Figura 13* e in *Figura 14* sono mostrate le curve P-Y con cui è stato modellato il palo di lunghezza 47.0 m suddividendolo in conci di 0.50 m; in particolare si riporta la curva P-Y alle generiche quote di 10 e 20 m da testa palo. In *Figura 15* è mostrato l'andamento lungo il palo delle pressioni orizzontali mobilitate e della pressione limite. In *Figura 16* è mostrato l'andamento del taglio massimo ed in *Figura 17* l'andamento del momento lungo il palo in presenza di scalzamento. Il momento massimo a testa palo è 1412 kNm. L'armatura del palo di progetto (36 $\phi$ 26) è tale da avere un momento di plasticizzazione (vedasi Tabella 26) maggiore del momento massimo come si evince da *Figura 17*.

Le verifiche a carico limite orizzontale per le palificate in presenza di scalzamento sono soddisfatte, in quanto risulta sempre la massima azione di taglio di progetto inferiore all'azione di taglio resistente ( $V_{pd} = 133 \text{ kN} \leq H_d = H_k / FS_g = 370 / 2.76 \text{ kN}$ ).

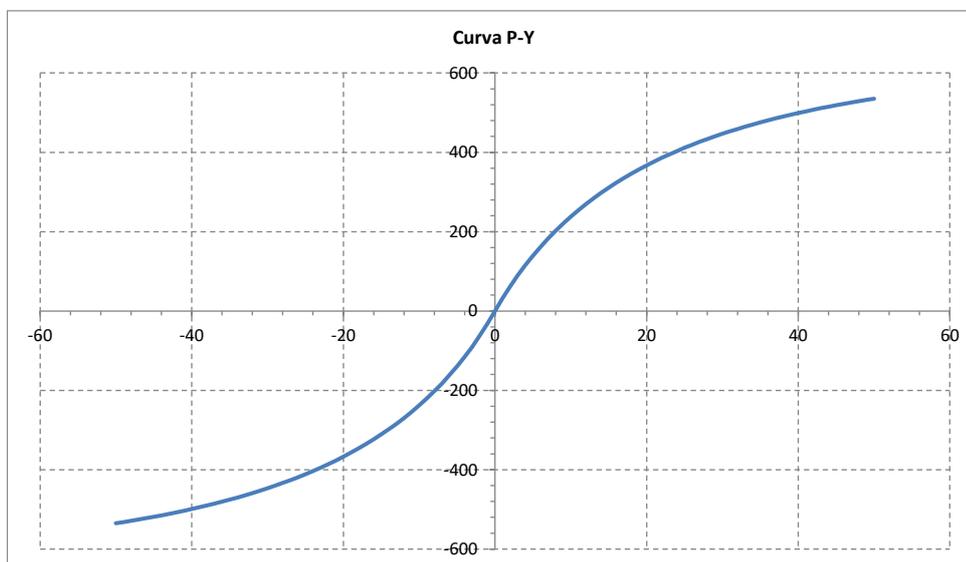


Figura 13: curva P-Y a quota 10 m da testa palo - IV01 pile con scalzamento

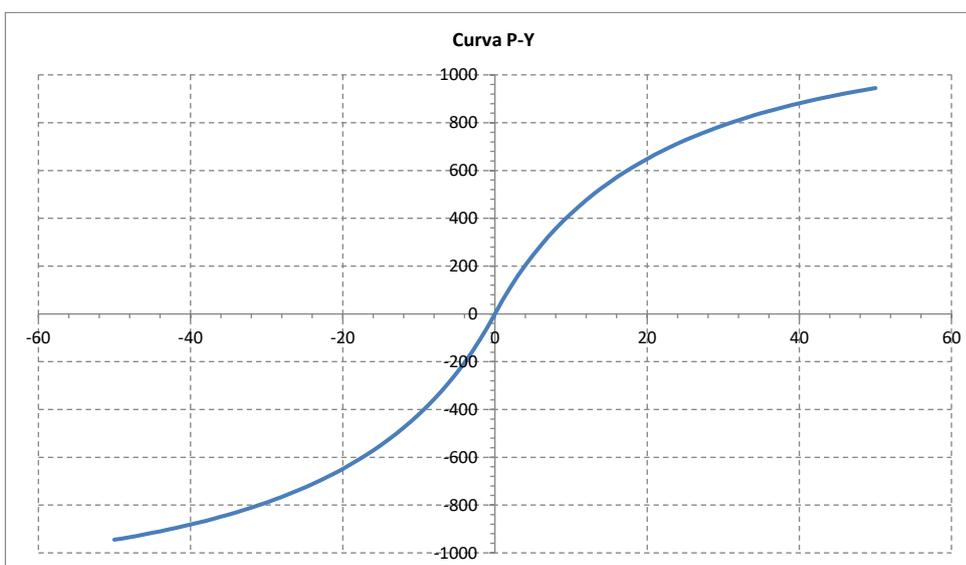


Figura 14: curva P-Y a quota 20 m da testa palo - IV01 pile con scalzamento

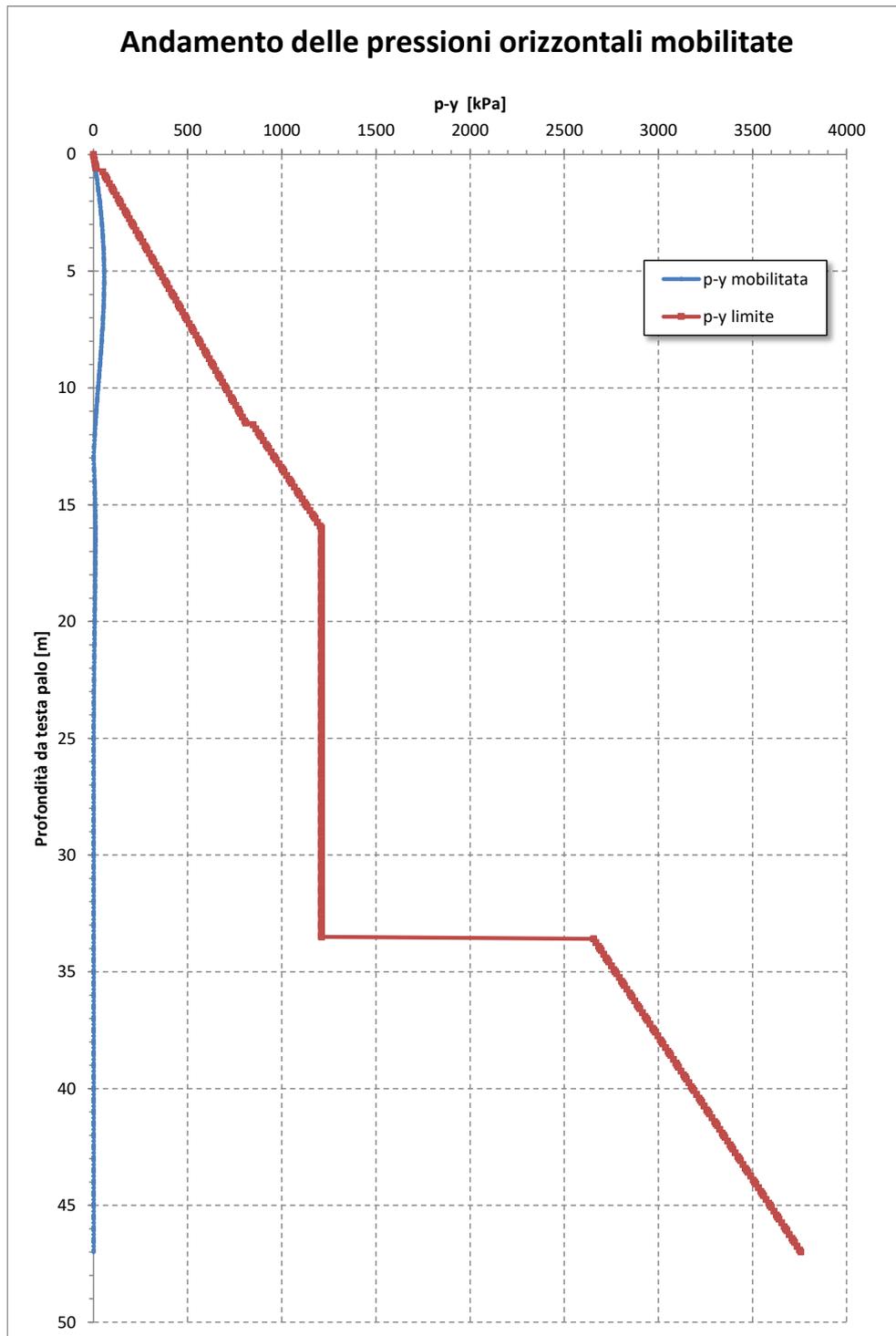


Figura 15 – Andamento pressioni orizzontali - - IV01 pile con scalzamento

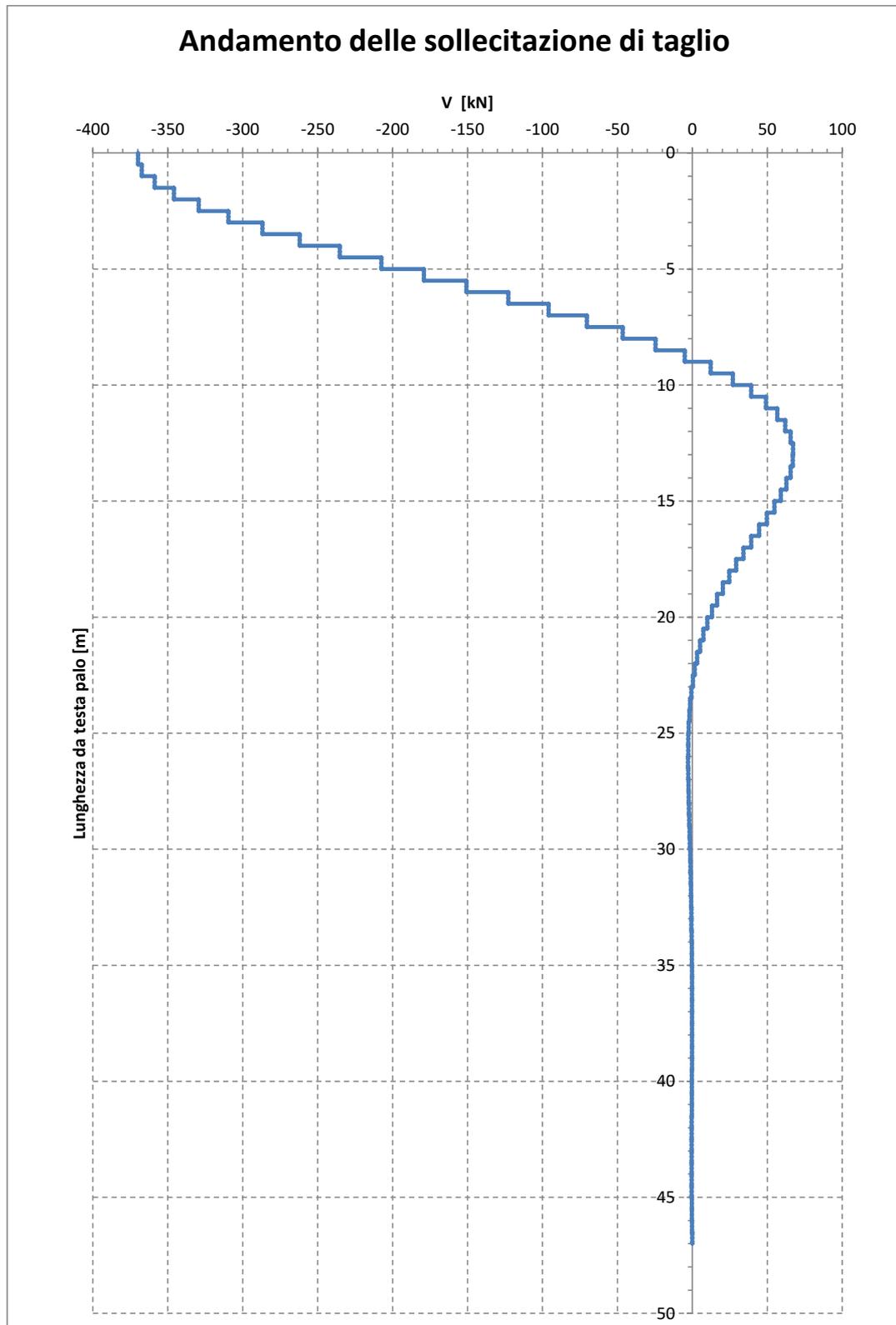


Figura 16 – Andamento del taglio lungo il palo - IV01 pile con scalzamento

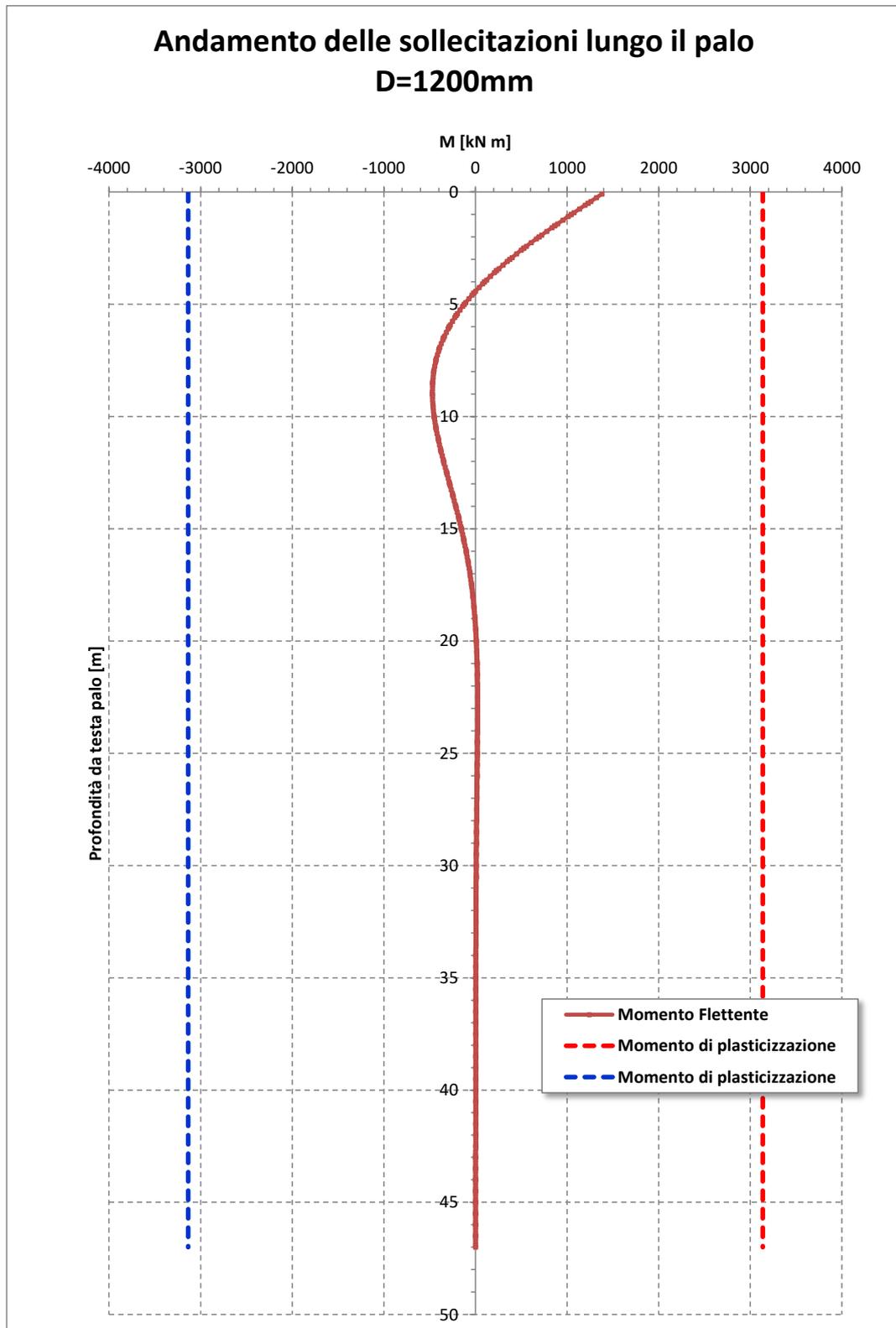


Figura 17 – Andamento del momento lungo il palo - IV01 pile con scalzamento

### 5.3.6 Spalla VI02

In *Figura 18* e in *Figura 19* sono mostrate le curve P-Y con cui è stato modellato il palo di lunghezza 41.0 m suddividendolo in conci di 0.50 m; in particolare si riporta la curva P-Y alle generiche quote di 10 e 32 m da testa palo. In *Figura 20* è mostrato l'andamento lungo il palo delle pressioni orizzontali mobilitate e della pressione limite. In *Figura 21* è mostrato l'andamento del taglio massimo ed in *Figura 22* l'andamento del momento lungo il palo in presenza di scalzamento. Il momento massimo a testa palo è 4365 kNm. L'armatura del palo di progetto (36 $\phi$ 26) è tale da avere un momento di plasticizzazione (vedasi Tabella 27) maggiore del momento massimo come si evince da *Figura 22* *Figura 17*.

Le verifiche a carico limite orizzontale per le palificate in presenza di scalzamento sono soddisfatte, in quanto risulta sempre la massima azione di taglio di progetto inferiore all'azione di taglio resistente ( $V_{pd} = 410 \text{ kN} \leq H_d = H_k / FS_g = 1135 / 2.76 \text{ kN}$ ).

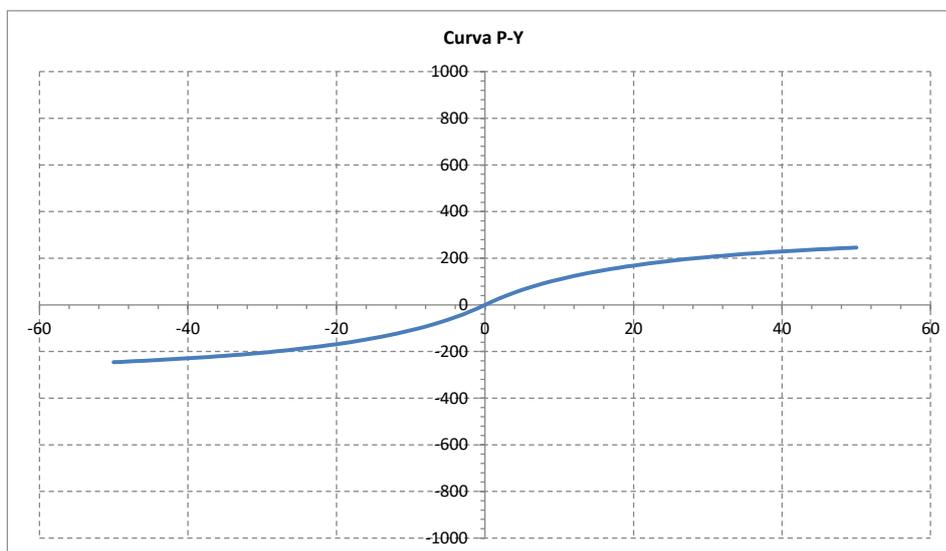


Figura 18: curva P-Y a quota 10 m da testa palo – VI02 spalle con scalzamento

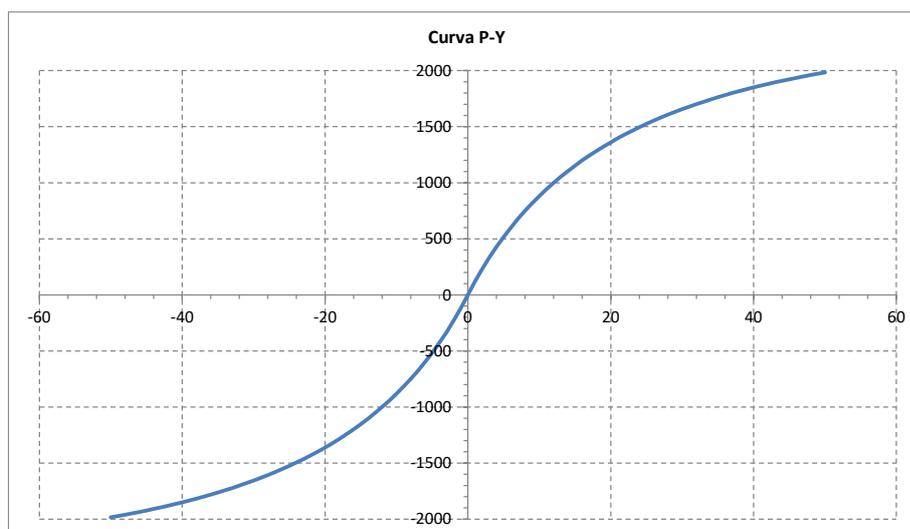


Figura 19: curva P-Y a quota 32 m da testa palo – VI02 spalle con scalzamento

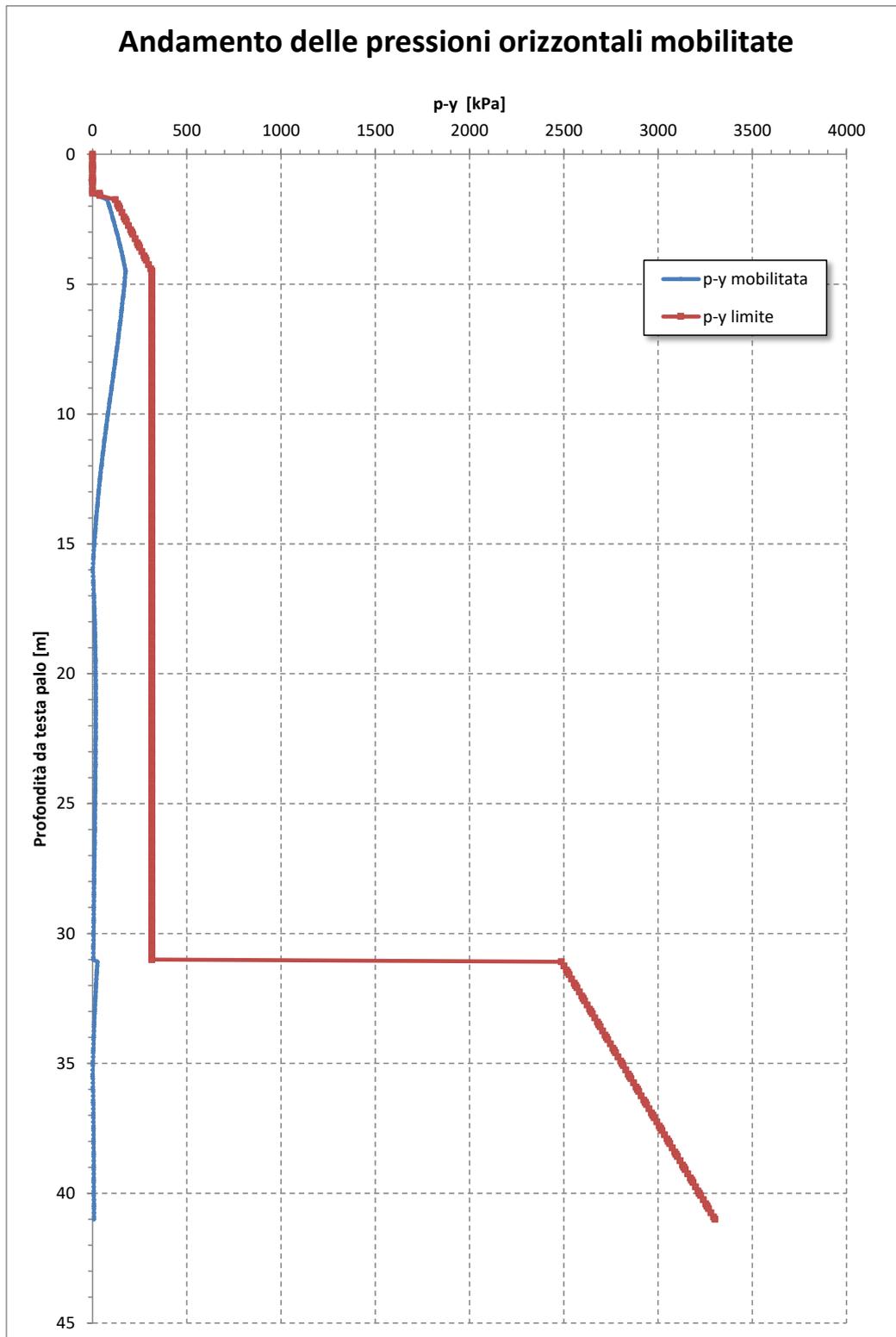


Figura 20 – Andamento pressioni orizzontali – VI02 spalle con scalzamento

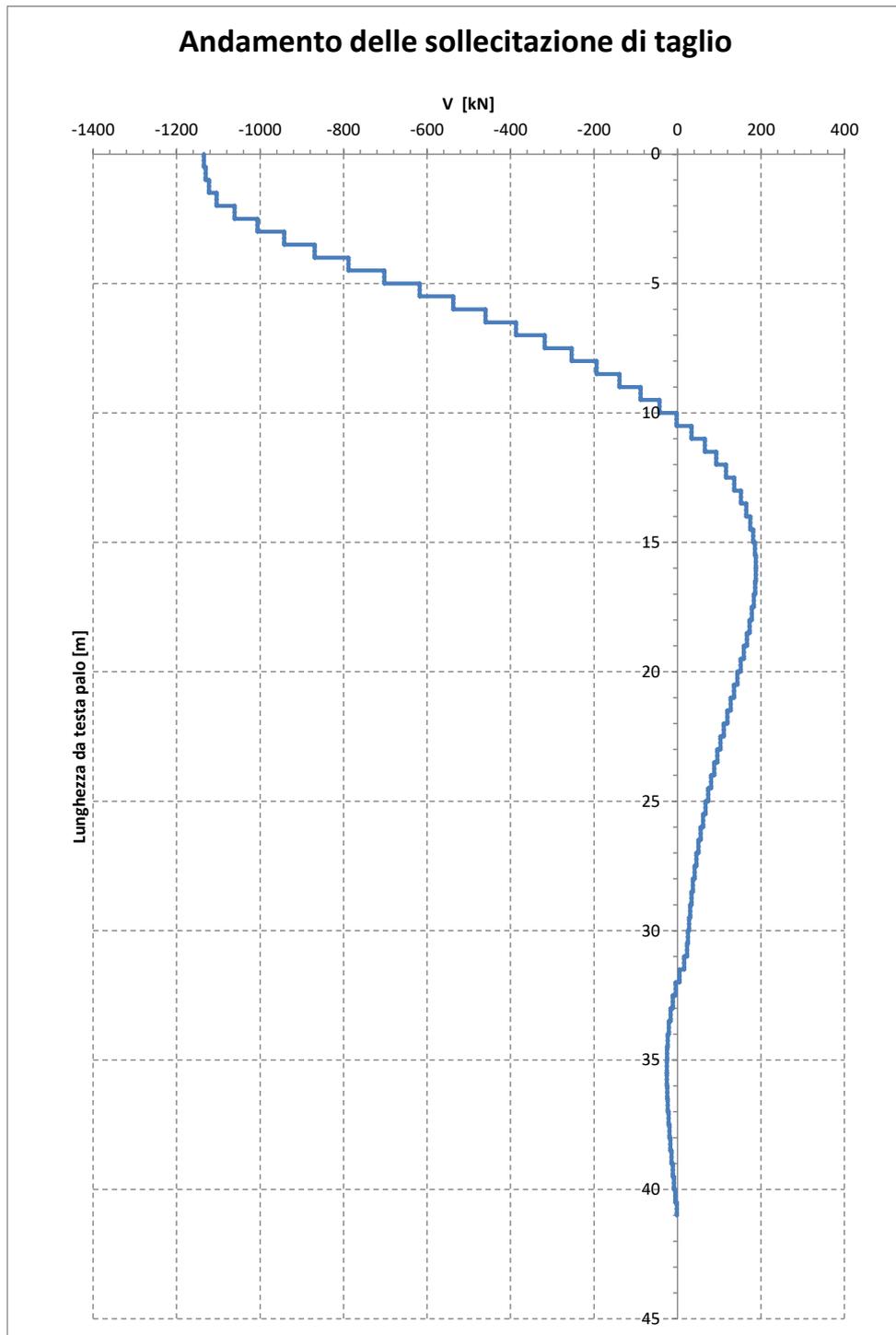


Figura 21 – Andamento del taglio lungo il palo – VI02 spalle con scalzamento

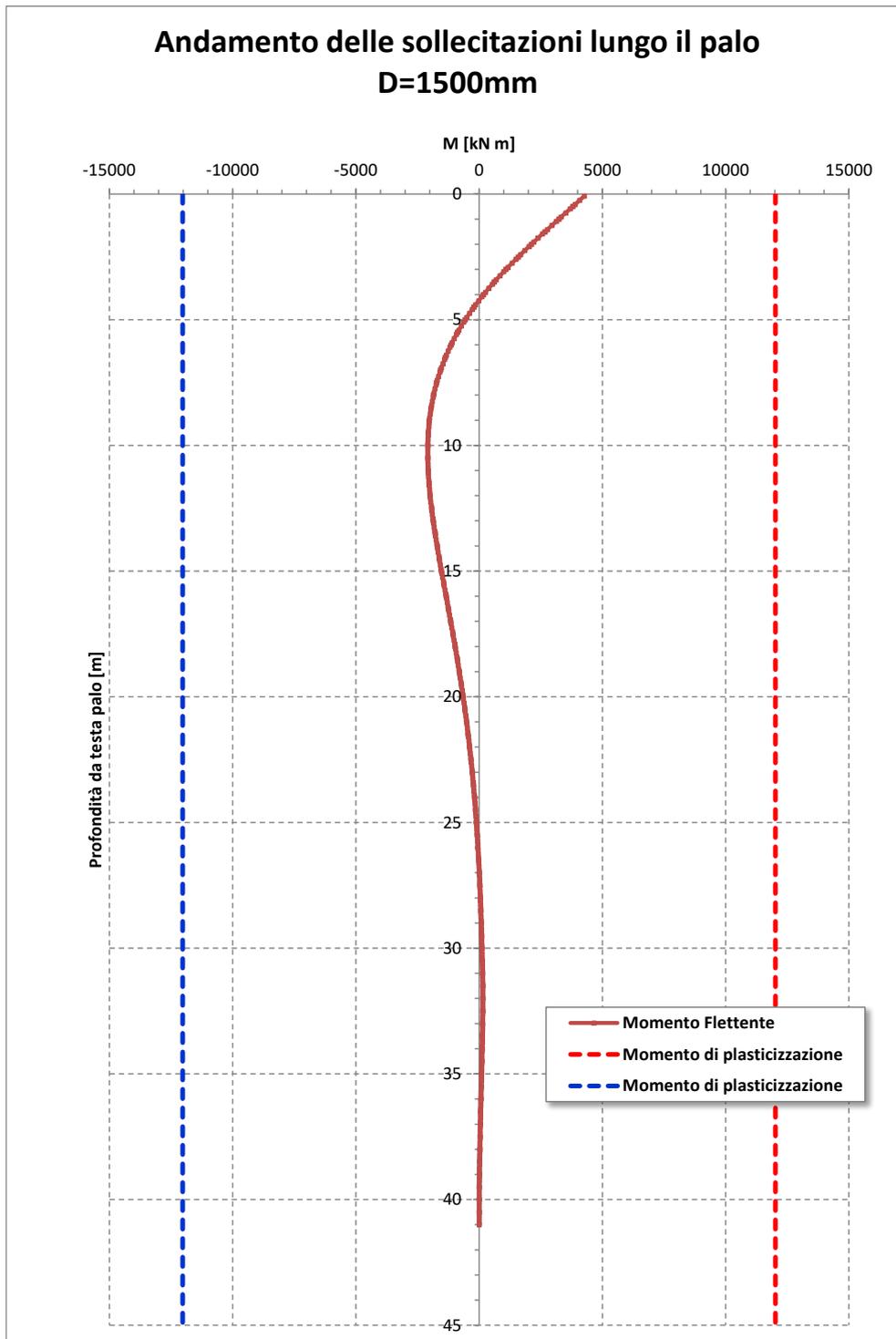


Figura 22 – Andamento del momento lungo il palo – VI02 spalle con scalzamento

**Tabella 27 – Momento adimensionale palo D=1500mm spalla**

**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

Diametro = 1500 (mm)  
Raggio = 750 (mm)  
Sforzo Normale = 0 (kN)

**Caratteristiche dei Materiali**

calcestruzzo

Rck = 30 (Mpa)  
fck = 25 (Mpa)  
 $\gamma_c = 1.5$   
 $\alpha_{cc} = 0.85$

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

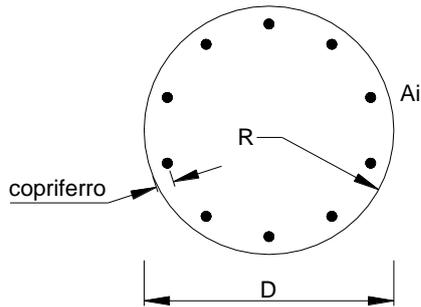
**Acciaio**

tipo di acciaio

$f_{yk} = 450$  (Mpa)  
 $\gamma_s = 1.15$   
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3$  (Mpa)  
 $E_s = 210000$  (Mpa)  
 $\epsilon_{ys} = 0.186\%$   
 $\epsilon_{uk} = 10.000\%$

**Armature**

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
42	φ 32	33778	98
40	φ 32	32170	162
0	φ 0	0	0



Calcolo

**Momento di Plasticizzazione**

**My = 12020.1 (kN m)**

Inserisci

(\**) cautelativamente il momento di plasticizzazione è stato associato a sollecitazione assiale nulla (N=0 kN); per la condizione di carico di scalzamento non si ha trazione.*

#### 5.4 Verifica strutturale in condizioni di scalzamento

Per verificare i pali a livello strutturale anche in condizioni di scalzamento, si valuta il valore di momento flettente derivante dal prodotto del taglio in condizioni di scalzamento,  $T_{scalz}$ , per il coefficiente  $\alpha_{scalzamento}$ , che viene confrontato con il momento di verifica adottato nelle rispettive relazioni di calcolo riportate nel capitolo 1, cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

Di seguito si riportano i valori di  $\alpha$ , taglio e momento nel caso di presenza e di assenza di scalzamento per le seguenti opere:

- Spalla IV01
- Pila IV01
- Spalla VI02

<i>Opera</i>	$\alpha_{scalzamento}$	$T_{scalz}$ (kN)	$M_{scalz}$ (kNm)	$\alpha_{SLV}$	$T_{SLV}$ (kN)	$M_{SLV}$ (kNm)	<i>Verifica</i> $M_{scalz} < M_{SLV}$
Pila IV01	3.8	133	505.4	3.4	668.76	2258.51	Verificato
Spalla IV01	3.8	148	562.4	3.7	740.7	2501.6	Verificato
Spalla VI02	3.85	410	1578.5	4.04	1462	5907	Verificato

**Tabella 28: Confronto tra momenti sollecitanti in presenza e assenza di scalzamento**

Come si nota in Tabella 28: Confronto tra momenti sollecitanti in presenza e assenza di scalzamento Tabella 28 dal confronto tra i momenti massimi in assenza di scalzamento ( $M_{SLV}$ ), dati dalle combinazioni allo SLV, con i momenti sollecitanti in presenza di scalzamento ( $M_{scalz}$ ), i pali precedentemente verificati nelle relazioni indicate al paragrafo 1, risultano automaticamente verificati poiché  $M_{scalz} < M_{SLV}$  anche con scalzamento.