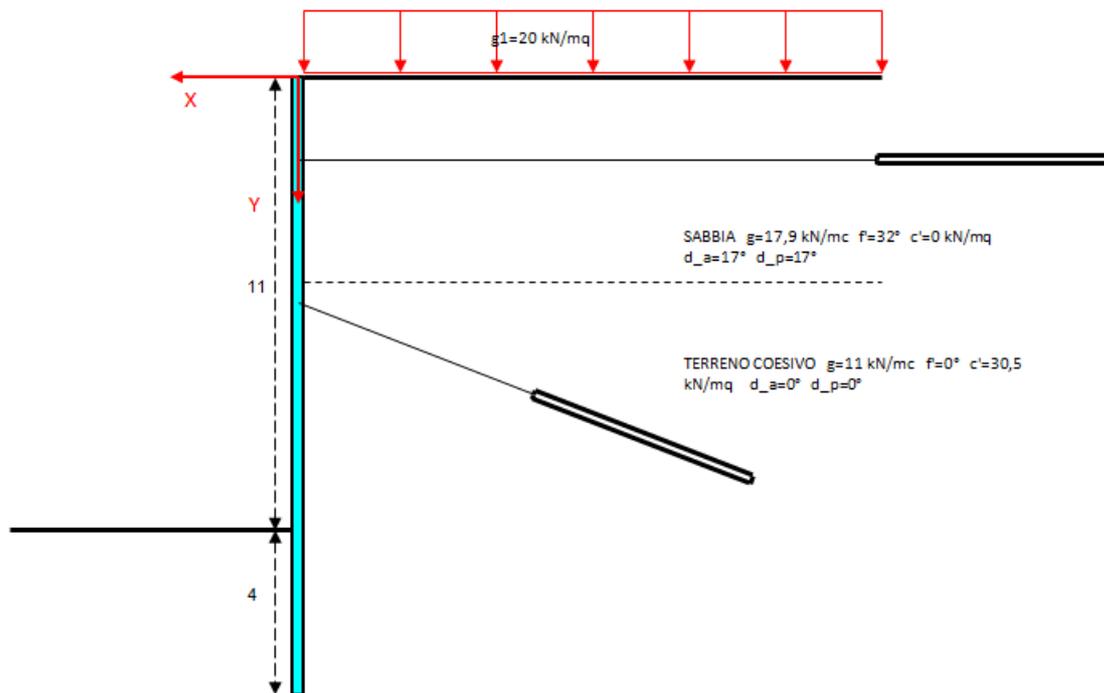


Paratie.Az

Software per il per il calcolo geotecnico e strutturale di
paratie a sbalzo ed ancorate

(versione 9.0)



Validazione del software

Autore

Ing. *Ciro Azzara*

Via E. Majorana, 8 – 90035 Marone (PA)

Cell. 348 1514947

email ing.azzara@libero.it – azzara.ciro@gmail.com

<p>Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)</p>	<p>Validazione del software</p>	<p>Pag. 2 di 14</p>
--	--	---------------------

INDICE

1. PREMESSA 3

2. ESEMPI DI VALIDAZIONE DEL CODICE 3

Test di verifica n. 1 – Calcolo profondita’ di infissione paratia ancorata in terreno a grana grossa omogeneo in presenza di falda3

Test di verifica n. 2 - Verifica profondita’ di infissione paratia ancorata in terreno omogeneo con falda in moto di filtrazione permanente7

Test di verifica n. 3 – Paratia in acciaio risolta con metodo agli elementi finiti – analisi lineare9

3. BIBLIOGRAFIA 14

1. PREMESSA

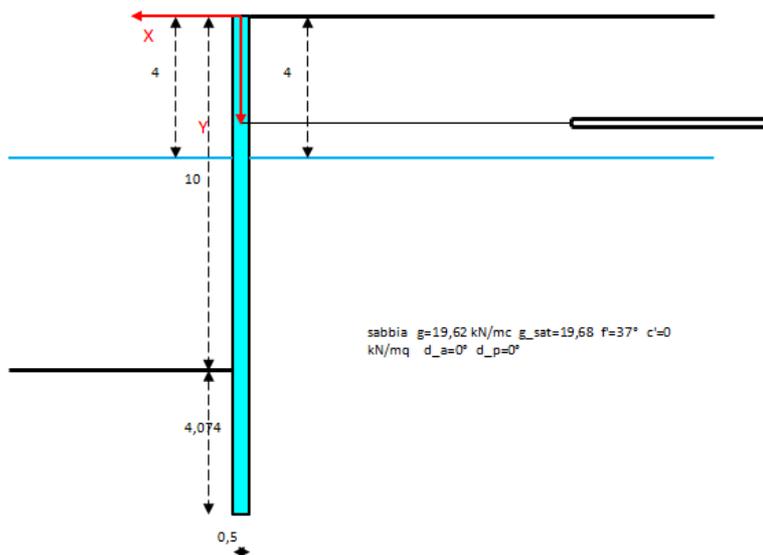
Di seguito vengono riportati alcuni esempi al fine di dare ulteriori chiarimenti sull'uso del software e per validare il codice di calcolo confrontando i risultati con quelli ottenuti manualmente e/o riscontrabili in letteratura tecnica e/o utilizzando altri software di comprovata affidabilità.

La taratura dei vari algoritmi di calcolo implementati, al fine di dimostrare l'attendibilità dei risultati, è una operazione fondamentale che va a tutela e garanzia dell'utente finale ed è espressamente prevista dalle NTC di cui al D.M. 14/01/2008 e al D.M. 17/01/2018 (capitolo 10), fermo restando che il progettista resta sempre e comunque unico responsabile dell'intera progettazione strutturale, come espressamente previsto dal penultimo comma del capitolo 10.1 dei citati Decreti Ministeriali.

Il progettista deve controllare l'affidabilità dei codici di calcolo utilizzati e verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti.

2. Esempi di validazione del codice

TEST DI VERIFICA N. 1 – CALCOLO PROFONDITA' DI INFISSIONE PARATIA ANCORATA IN TERRENO A GRANA GROSSA OMOGENEO IN PRESENZA DI Falda



Si riproduce l'esercizio di esame n. 5 del documento [1] citato in bibliografia. Calcolare la profondità di infissione di una paratia ancorata (ex D.M. 11/03/1988) e la forza di trazione nel tirante con i seguenti dati di progetto ("metodo del supporto libero" in condizioni di equilibrio limite LEM):

- altezza H di scavo = 10 m
- posizione falda a monte e a valle $z_{wm} = z_{wv} = 4$ m
- posizione punto di ancoraggio $Y_a = 3$ m
- terreno costituito da sabbia densa e ghiaia omogenea (1 strato):

strato	posizione z_t (m)	γ kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	ϕ' (°)	c' kN/m ²	$\delta a = \delta p$ (°)
1		19,62	19,68	37	0	0

- coefficiente di sicurezza alla rotazione attorno a un punto $\gamma_{\text{Rot}} = 1,5$

➤ peso dell'unità di volume dell'acqua = $9,81 \text{ kN/m}^3$

I principali risultati forniti dal software sono i seguenti.

COMB. 1 (SLU-F)

VERIFICA ALLA ROTAZIONE INTORNO AL PUNTO DI ANCORAGGIO (atto di moto rigido)

Metodo del supporto libero (free earth support)

Sovraccarichi di progetto sui terrapieni

Terreno di monte, $q1d=0,00 \text{ kN/mq}$

Terreno di valle, $q2d=0,00 \text{ kN/mq}$

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=19,62 \text{ kN/mc}$

peso dell'unità di volume saturo, $g_{\text{sat}}=19,68 \text{ kN/mc}$

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=37 (^{\circ})$

coesione drenata, $c'_d=0,00 \text{ kN/mq}$

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0 (^{\circ})$

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0 (^{\circ})$

Coefficienti di spinta

strato 1

lato monte:

coeff. di spinta attiva, $Ka=0,248584$

coeff. di spinta a riposo, $Ko=0,398185$

coeff. di spinta passiva, $Kp=4,022791$

coeff. di spinta passiva abbattuto dal coefficiente di sicurezza, $Kpr=Kp/gRot=2,681861$

lato valle:

coeff. di spinta attiva, $Ka=0,248584$

coeff. di spinta a riposo, $Ko=0,398185$

coeff. di spinta passiva, $Kp=4,022791$

coeff. di spinta passiva abbattuto dal coefficiente di sicurezza, $Kpr=Kp/gRot=2,681861$

Forza nel tirante, per unità di lunghezza, e profondità di infissione o coeff. sicurezza

Forza orizz. che il tirante/puntone esercita sulla paratia (positiva se concorde con X), $Th=-140,37 \text{ kN/m}$

Forza vertic. che il tirante/puntone esercita sulla paratia (positiva se concorde con Y), $Tv=0,00 \text{ kN/m}$

Forza di trazione nel singolo tirante/puntone, $Ttir=Th \times ia/\cos(\alpha)=140,37 \text{ kN}$

Profondità di infissione paratia, $D=4,074 \text{ m}$

n° iterazioni effettuate (metodo bisezione) = 17

errore equazione di equilibrio alla rotazione = $-0,28 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Punti caratteristici e tensioni a monte della paratia

tensioni in kN/mq

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf

1	0,00	1	0,00	0,00	0,00
4	0,35	1	6,90	0,00	1,72
w	4,00	1	78,48	0,00	19,51
3	14,07	1	276,74	98,83	143,05

Punti caratteristici e tensioni a valle della paratia

tensioni in kN/mq

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf
w	4,00	1	0,00	0,00	0,00	
11	10,00	1	58,86	58,86	58,86	
13	14,07	1	139,04	98,83	206,67	

Spinte di monte e di valle (orizzontali) agenti sulla paratia

Spinta di monte, $S_m=857,85$ kN/m

Spinta di valle, $S_v=717,48$ kN/m

braccio della spinta di monte rispetto al punto di ancoraggio, $dm=6,965$ m

braccio della spinta di valle rispetto al punto di ancoraggio, $dv=8,328$ m

I risultati ottenuti con *Paratie.Az* sono perfettamente coincidenti con quelli ottenuti nel documento sopra citato.

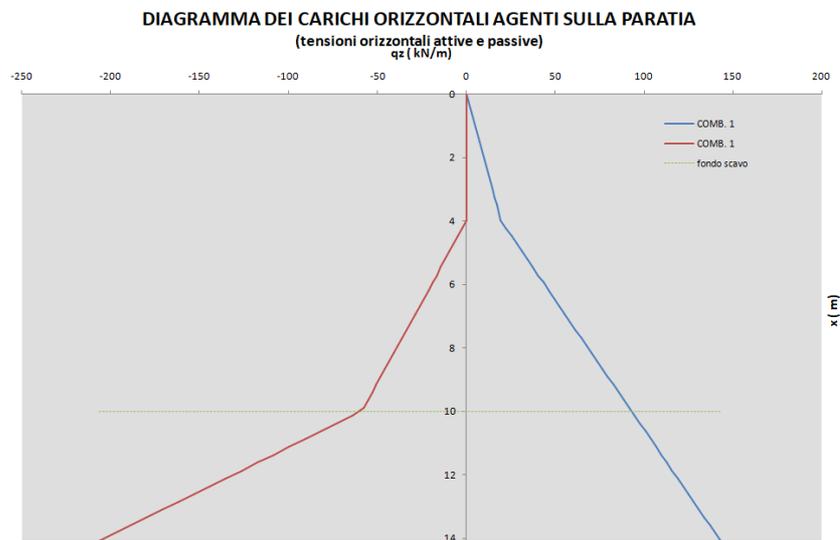


DIAGRAMMA DEL TAGLIO $T_z(x)$ LUNGO LA PARATIA

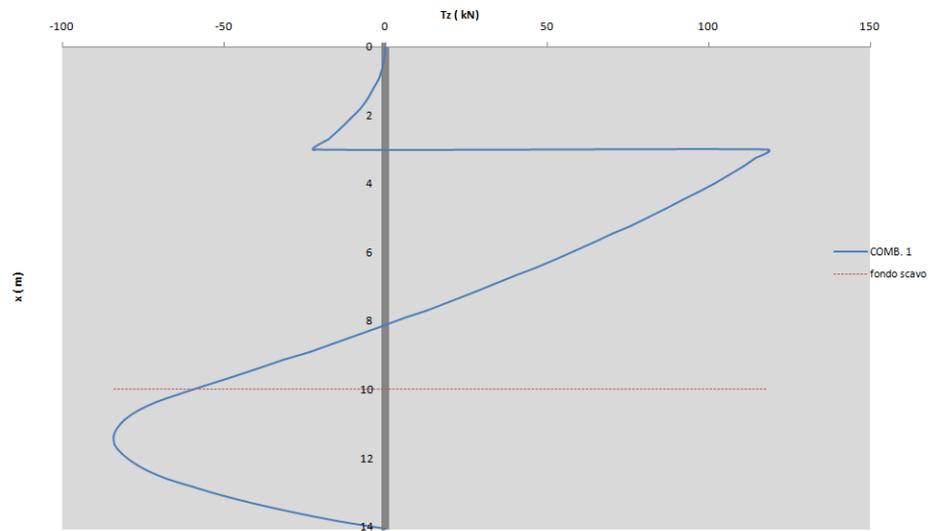
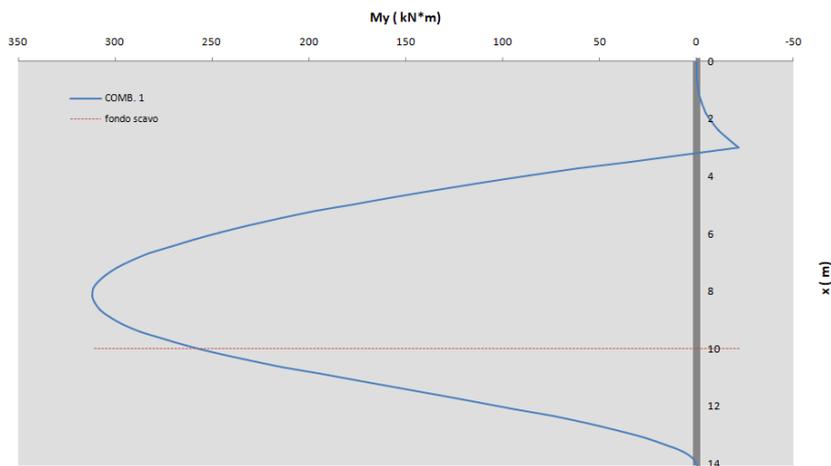
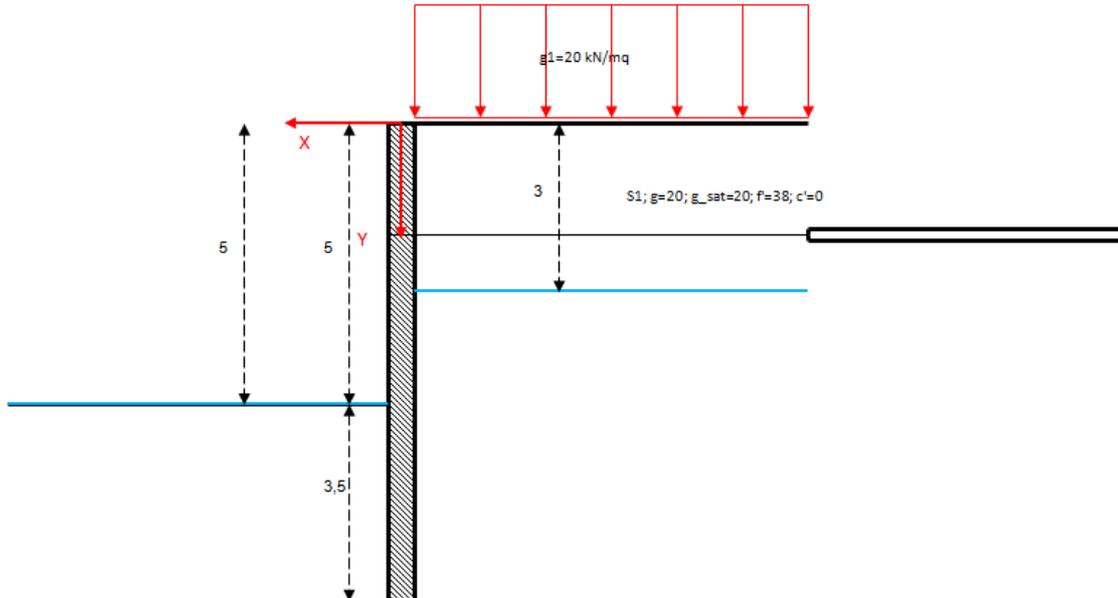


DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE $M_y(x)$ LUNGO LA PARATIA



TEST DI VERIFICA N. 2 - VERIFICA PROFONDITA' DI INFISSIONE PARATIA ANCORATA IN TERRENO OMOGENEO CON FALDA IN MOTO DI FILTRAZIONE PERMANENTE



Si riproduce l'esercizio di esame n. 11 del documento [1] citato in bibliografia. Verificare la profondità di infissione di una paratia ancorata (ex D.M. 11/03/1988) e la forza di trazione nel tirante con i seguenti dati di progetto (*metodo del supporto libero*):

- terreno omogeneo a grana grossa (condizioni drenate)
- altezza H di scavo = 5 m
- profondità di infissione D=3,5 m
- posizione falda a monte $z_{wm}=3$ m
- posizione falda a valle $z_{wv}=5$ m
- posizione punto di ancoraggio $Y_a=2$ m
- interasse tra gli ancoraggi $i_a=1$ m
- terreno costituito da sabbia (1 strato):

strato	posizione Y_t (m)	γ kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	ϕ' (°)	c' kN/m ²	$\delta a = \delta p$ (°)
1		20,00	20,00	38	0	0

- sovraccarico permanente a monte $g_1=20$ kPa
- coefficiente di sicurezza alla rotazione attorno a un punto $\gamma_{Rot}= 1,2$
- peso dell'unità di volume dell'acqua = 9,81 kN/m³

Nel documento citato, a calcoli effettuati, viene indicato un gradiente idraulico pari a 0,222, il coefficiente di sicurezza alla rotazione pari a 1,49 e la forza nel tirante pari a 88,08 kN/m.

I principali risultati forniti da *Paratie.Az* sono i seguenti (tempo di esecuzione dei calcoli 2 sec).

PARAMETRI MOTO DI FILTRAZIONE

Perdita di carico $\Delta H=2$ m

Cadente critica $ic=1,0387$

Lunghezza percorso di filtrazione $Lf=9$ m

Cadente di efflusso $ie=0,2222$

COMBINAZIONI DI CARICO ANALIZZATE

Descrizione	Sism?	car. g1	car. g2	car. q1
COMBINAZ. FONDAMENTALE 1 (solo cari	FALSO	1	1	0

VERIFICHE GEOTECNICHE DI STABILITA' E STRUTTURALI

COMBINAZ. FONDAMENTALE 1 (solo carichi permanenti)

VERIFICA ALLA ROTAZIONE INTORNO AL PUNTO DI ANCORAGGIO (atto di moto rigido)

Metodo del supporto libero (free earth support)

Coefficienti di spinta

strato 1

Coefficiente di spinta attiva lato monte, $Ka=0,237883$

Coefficiente di spinta passiva lato monte, $Kp=4,203746$

Coefficiente di spinta attiva lato valle, $Ka=0,237883$

Coefficiente di spinta passiva lato valle, $Kp=4,203746$

Forza nel tirante e profondità di infissione o coeff. sicurezza

Forza orizzontale nel tirante per unità di lunghezza di paratia (positiva se concorde con X), $Th=88,08$ kN/m

Forza verticale nel tirante per unità di lunghezza di paratia (positiva se discorde con Y), $Tv=0,00$ kN/m

Forza nel singolo tirante, $Ttir=Th \times ia/\cos(\alpha)=264,25$ kN

Coefficiente di sicurezza, $Eta=1,487$

Punti caratteristici e tensioni a monte della paratia

tipo punto	z (m)	strato	s'v	u	sa/sp/s_sup	s_inf
1	0,00	1	20,00	0,00	4,76	0,00
w	3,00	1	80,00	0,00	19,03	0,00
3	8,50	1	148,04	41,97	77,18	0,00

Punti caratteristici e tensioni a valle della paratia

tipo punto	z (m)	strato	s'v	u	sa/sp/s_sup	s_inf
11	5,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
w	5,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
13	8,50	1	28,04	41,97	121,24	0,00

Spinte di monte e di valle (orizzontali) agenti sulla paratia

Spinta di monte, $Sm=300,26$ kN/m

Spinta di valle, $Sv=212,18$ kN/m

braccio della spinta di monte risp. al punto di ancoraggio, $dm=3,769$ m

braccio della spinta di valle risp. al punto di ancoraggio, $dv=5,333$ m

Esito verifica

Verifica soddisfatta (essendo $Eta \geq gRot$)

VERIFICHE IDRAULICHE

VERIFICA A SIFONAMENTO

Cadente critica $ic=1,0387$

Cadente di efflusso $i_e=0,2222$

Fattore di sicurezza $F_s=i_c/i_e=4,67$

Esito verifica

Verifica soddisfatta (essendo $F_s \geq g_{Sif}$)

VERIFICA A SOLLEVAMENTO DEL FONDO SCAVO

valore di progetto dell'azione instabilizzante $V_{inst}=13,35$ kN/m

valore di progetto delle azioni stabilizzanti $G_{stab}=62,41$ kN/m

valore di progetto delle resistenze $R_d=0,00$ kN/m

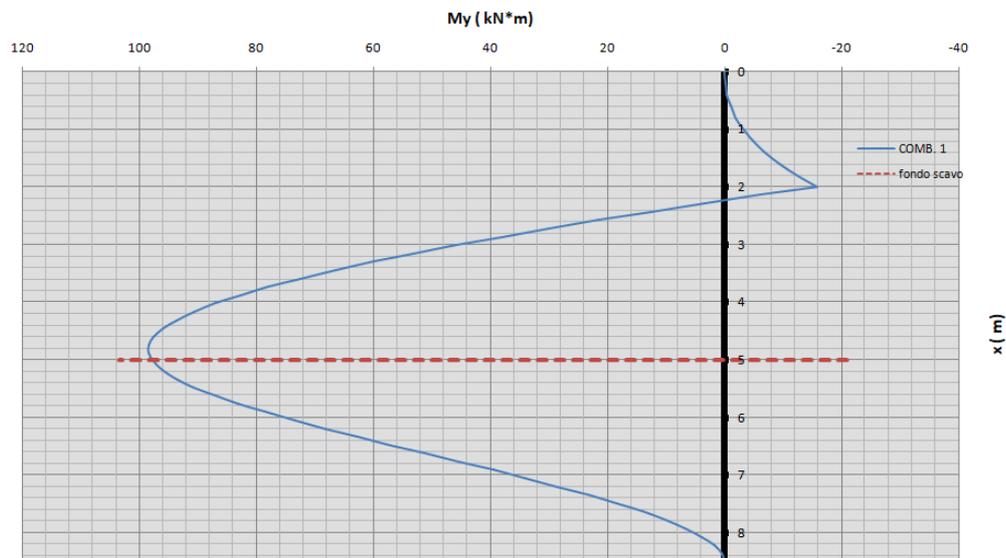
Esito verifica

Fattore di sicurezza $F_s=(G_{stab}+R_d)/V_{inst}=4,67$

Verifica soddisfatta (essendo $F_s \geq g_{Soll}$)

Come si può verificare, i risultati ottenuti con *Paratie.Az* sono perfettamente coincidenti con quelli ottenuti nel documento sopra citato.

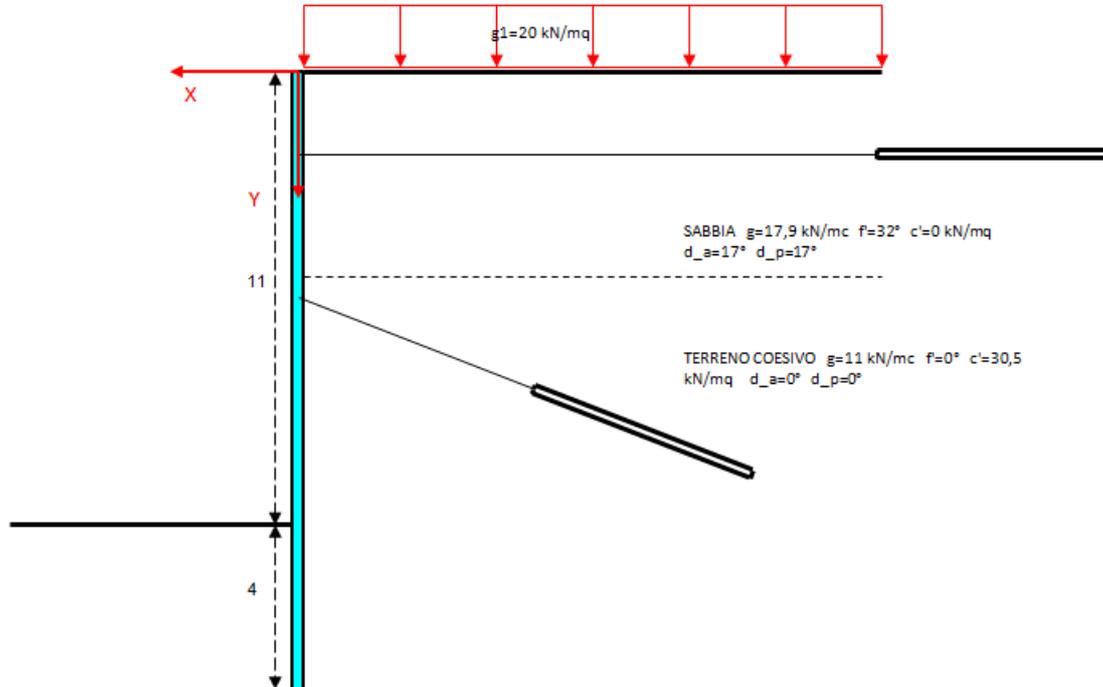
DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE $M_y(x)$ LUNGO LA PARATIA



TEST DI VERIFICA N. 3 – PARATIA IN ACCIAIO RISOLTA CON METODO AGLI ELEMENTI FINITI – ANALISI LINEARE

Si considera la paratia in acciaio di cui all'esempio 13.3 del libro [2]. La paratia è alta 15 metri e sorregge un terrapieno di materiale sabbioso di spessore 5 metri, sovrastante uno strato di argilla. La profondità di scavo è pari a 11 metri con una profondità di infissione della palancola pari a 4 metri. Sono presenti due ordini di tiranti passivi: il primo orizzontale a quota 2 metri, il secondo inclinato di 20° rispetto all'orizzontale a quota 5,5 metri rispetto al piano di campagna. È presente la falda in quiete (stesso livello a monte e a valle) a profondità coincidente con la superficie di separazione dei due strati di terreno.

A monte della paratia agisce una carico uniformemente distribuito permanente pari a 20 kPa.



Poiché il livello dell'acqua è lo stesso da entrambi i lati della paratia è possibile ignorare la sua presenza e procedere considerando per il secondo strato di terreno (in cui ricade la falda) il peso dell'unità di volume pari a $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 20,8 - 9,8 = 11 \text{ kN/m}^3$. Il terreno ha i seguenti parametri geotecnici¹:

strato	posizione z_t (m)	$\gamma \text{ kN/m}^3$	$\varphi' \text{ (}^\circ\text{)}$	$c' \text{ kN/m}^2$	$\delta a = \delta p \text{ (}^\circ\text{)}$
1 Sabbia	5	17,9	32	0	17°
2 Terreno coesivo		11,0	0	30,5	0°

Il modulo di reazione o di Winkler K_s è pari a $7,32 \text{ N/cm}^3$ per entrambi gli strati (costante con la profondità).

Il tirante orizzontale ha una lunghezza libera di 15 m, area del tirante (sezione di acciaio) pari a $9,6 \text{ cm}^2$ (diametro equivalente 3,496 cm), bulbo di fondazione lungo 6 m, diametro di perforazione 0,2 m. L'interasse dei tiranti lungo l'asse Z è di 3 m.

Il tirante inclinato ha una lunghezza libera di 6,5 m, area del tirante pari a $3,14 \text{ cm}^2$ (diametro equivalente 2,00 cm), bulbo di fondazione lungo 6 m, diametro di perforazione 0,2 m. L'interasse dei tiranti lungo l'asse Z è di 3 m.

L'acciaio della paratia e del tirante ha modulo elastico E pari a 200.000 MPa ($= \text{N/mm}^2$). La sezione d'acciaio (generica) ha un'area, un momento di inerzia e un modulo di

¹ In alternativa si può eseguire il calcolo in presenza di falda in quiete, inserendo il peso dell'unità di volume saturo per il secondo strato; si perviene agli stessi risultati.

resistenza per metro lineare di paratia, rispettivamente, pari a $2000 \text{ cm}^2/\text{m}$, $67.000 \text{ cm}^4/\text{m}$ e $6.700 \text{ cm}^3/\text{m}$.

Si risolve la paratia con *Paratie.Az* (normativa 1988) con il metodo agli elementi finiti ($L_{me}=0,2 \text{ m}$) e con l'analisi lineare. Per quanto indicato sopra occorre impostare nel programma:

- assenza di falda (CRD) e di sisma
- quota fino alla quale considerare la spinta attiva a monte: 11 m (altezza di scavo).

Di seguito si riportano i diagrammi del taglio, del momento flettente e la deformata forniti dal programma:

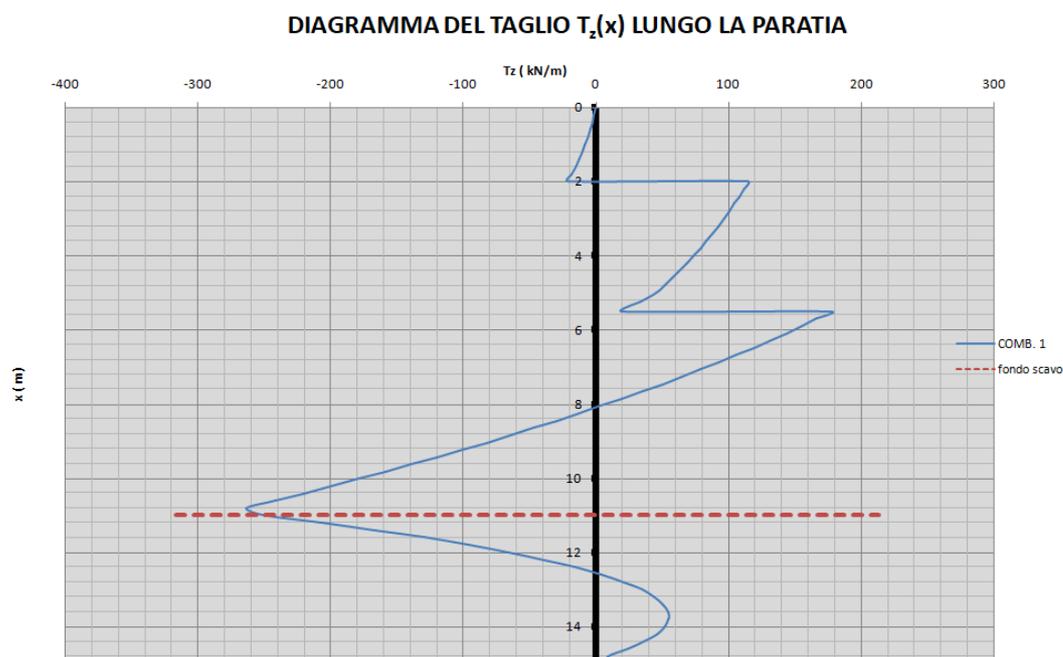
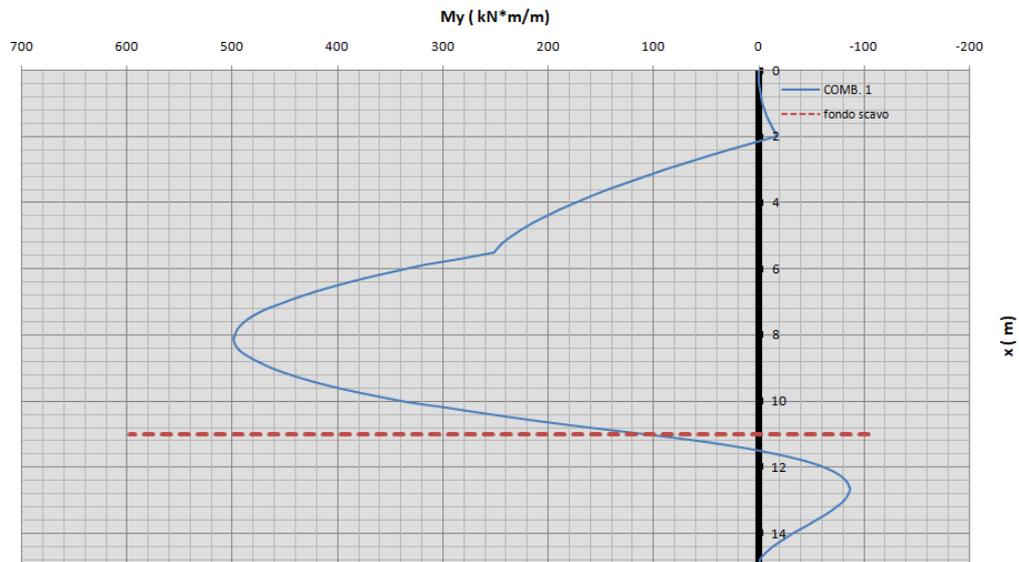
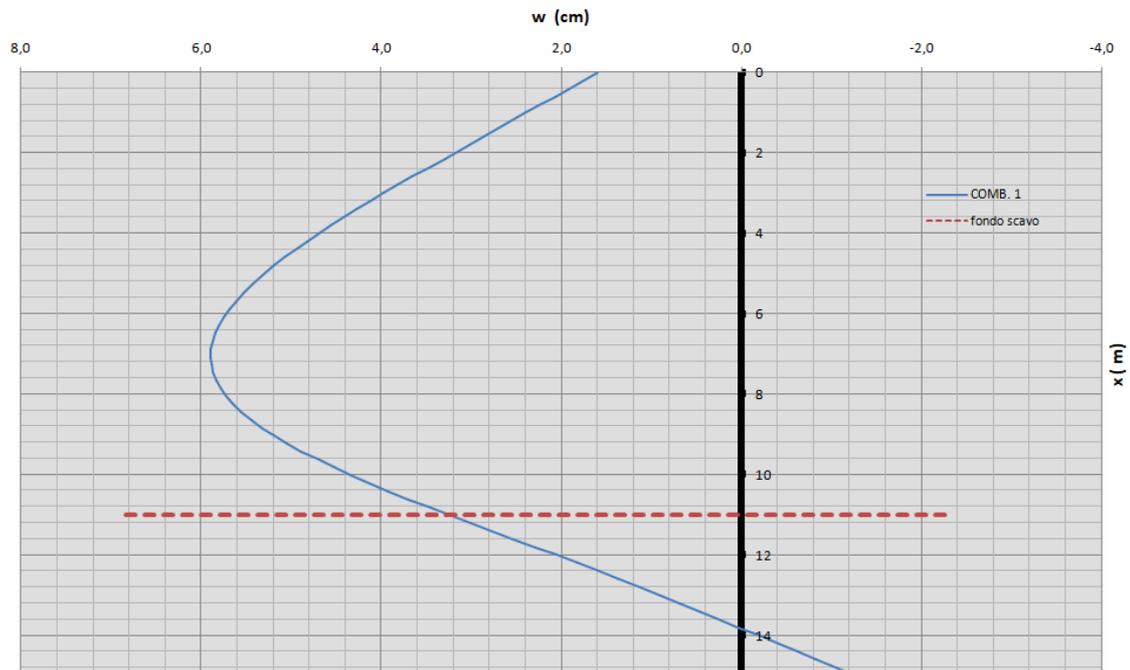


DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE $M_y(x)$ LUNGO LA PARATIA



SPOSTAMENTI ORIZZONTALI DELLA PARATIA $w=w(x)$



Dall'analisi dei risultati ottenuti si può notare che i risultati ottenuti con *Paratie.Az* coincidono con quelli di Bowles. In corrispondenza della linea di fondo lo spostamento calcolato è pari a 3,201 cm. Il massimo valore del momento flettente sulla struttura è pari a 496,69 kNm/ml e si verifica ad una distanza dalla testa della paratia pari a 8,05 metri.

3. BIBLIOGRAFIA

- [1] http://geotecnica.dicea.unifi.it/exer_sost.pdf *Esercizi da esami (1996-2006)*
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze
- [2] Bowles, *Fondazioni – Progetto e Analisi*, McGraw Hill Education 1991

Data revisione documento: **Maggio 2021**