

Muri.Az

Software per il calcolo geotecnico e strutturale dei muri di sostegno

(versione 11.0)

Validazione del software

Autore

Ing. *Ciro Azzara*

Via E. Majorana, 8 – 90035 *Marineo (PA)*

Cell. 348 1514947

e-mail: ing.azzara@libero.it azzara.ciro@gmail.com

INDICE

1. PREMESSA	3
2. ESEMPI DI VALIDAZIONE DEL CODICE	3
Test di verifica N° 1 – Calcolo della spinta	3
Test di verifica N° 2 – Calcolo della spinta terrapieno con sovraccarico.....	4
Test di verifica N° 3 – Verifica a ribaltamento	4
Test di verifica N° 4 – Verifica a scorrimento.....	5
Test di verifica N° 5 – Verifica a ribaltamento e a scorrimento in presenza di falda	5
Test di verifica N° 6 – Verifica a carico limite e verifica strutturale	7
Test di verifica N° 7 – Calcolo muro a sbalzo in C.A.	8
Test di verifica N° 8 – Calcolo muro a sbalzo in C.A.	9
3. BIBLIOGRAFIA.....	10

1. Premessa

Di seguito vengono riportati alcuni esempi al fine di validare il codice di calcolo confrontando i risultati ottenuti con i risultati ottenuti manualmente e/o riscontrabili in letteratura tecnica e/o utilizzando altri software di comprovata affidabilità.

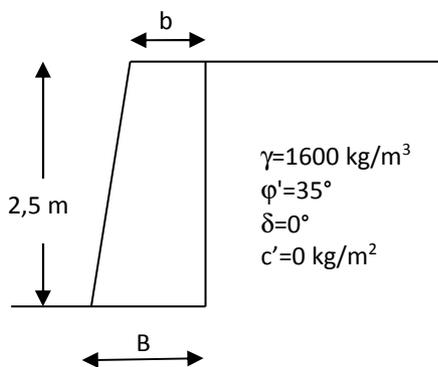
La taratura dei vari algoritmi di calcolo implementati, al fine di dimostrare l'attendibilità dei risultati, è una operazione fondamentale che va a tutela e garanzia dell'utente finale ed è espressamente prevista dalle NTC di cui al D.M. 14/01/2008 e al D.M. 17/01/2018 (capitolo 10), fermo restando che 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 DELLA SPINTA

Calcolare la spinta sul seguente muro a gravità, esercizio 3.1 di [1] (bibliografia) pag. 105.



Il libro fornisce un valore della spinta attiva pari a 1.355 kg/m con retta d'azione orizzontale passante a 0,83 m dalla base delle parete.

Risultati ottenuti con Muri.Az

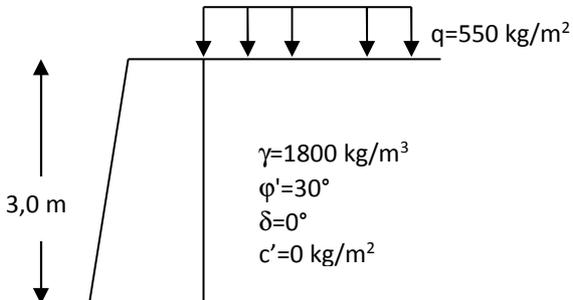
Per effettuare il calcolo è necessario precisare come normativa di riferimento il DM 11/03/1988 e inserire le dimensioni del muro ed altri parametri, anche se non hanno effetto sul valore della spinta (si assume $b=1 \text{ m}$, $B=1,6 \text{ m}$ e valori a piacere per gli altri parametri di input).

Si ottiene $S_a=1354,95 \text{ kg}$ (la spinta è riferita ad un metro di muro nel senso trasversale e quindi viene espressa in kg anziché in kg/m) e $d=0,83 \text{ m}$.

I risultati sono coincidenti a quelli del testo.

TEST DI VERIFICA N° 2 – CALCOLO DELLA SPINTA TERRAPIENO CON SOVRACCARICO

Calcolare la spinta sul seguente muro, esercizio 3.3 di [1] pag. 111.



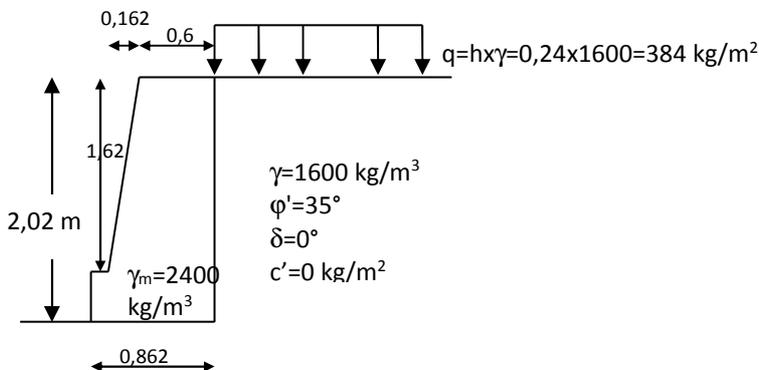
La spinta attiva complessiva indicata nel libro è pari a 3.255 kg/m.

Risultati ottenuti con Muri.Az

Procedendo come nel caso precedente si ottiene $S_a = 3.250 \text{ kg}$, valore praticamente identico a quello riportato nel libro.

TEST DI VERIFICA N° 3 – VERIFICA A RIBALTAMENTO

Si verifichi a ribaltamento il seguente muro a gravità, esercizio 3.16 di [1] pag. 147.



La spinta attiva complessiva indicata nel libro è pari a 1.095 kg/m e produce un momento ribaltante di 810 kgm. Il momento stabilizzante (area del manufatto 1,448 m², peso 3.476 kg) è pari a 1.734 kgm a cui consegue un coefficiente di sicurezza a ribaltamento pari a 2,14.

Risultati ottenuti con Muri.Az

La spinta attiva complessiva è pari a 1.094,8 kg e produce un momento ribaltante di 807,93 kgm. Il momento stabilizzante (area del manufatto 1,45 m², peso 3.475,25 kg) è pari a 1.733,2 kgm a cui consegue un coefficiente di sicurezza a ribaltamento pari a 2,15.

Come si può notare, i risultati sono praticamente coincidenti (nel libro preso a riferimento i calcoli vengono spesso arrotondati all'unità).

TEST DI VERIFICA N° 4 – VERIFICA A SCORRIMENTO

Si verifichi a scorrimento il muro di cui all'esercizio precedente, esercizio 3.17 di [1] pag. 150. L'angolo di attrito muro magrone è di $26^{\circ},5$.

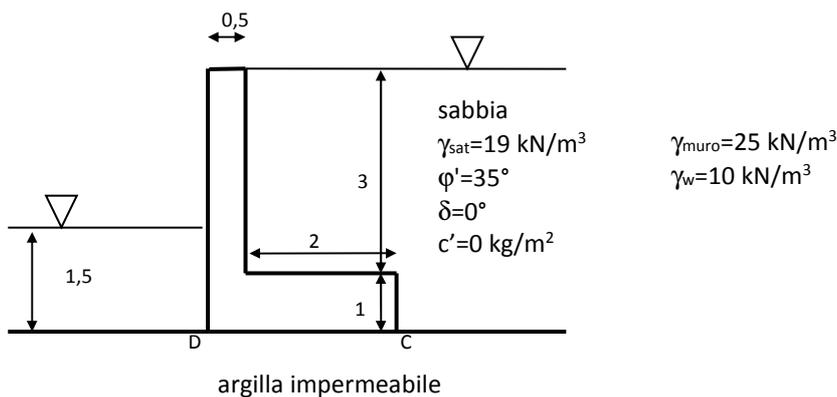
Il coefficiente di sicurezza allo scorrimento indicato nel libro è pari a 1,59.

Risultati ottenuti con Muri.Az

Il coefficiente di sicurezza a scorrimento dato dal software è pari a 1,58.

TEST DI VERIFICA N° 5 – VERIFICA A RIBALTAMENTO E A SCORRIMENTO IN PRESENZA DI FALDA

Si verifichi il muro, di cui all'esercizio n. 3 di [2] pag. 16, a ribaltamento e a scorrimento sul piano di posa della fondazione nelle condizioni a lungo termine (drenate). Il terreno di monte è una sabbia satura, a valle è presente un tirante d'acqua di 1,5 m. il muro è fondato su argilla impermeabile con angolo di attrito muro-argilla di 20° .



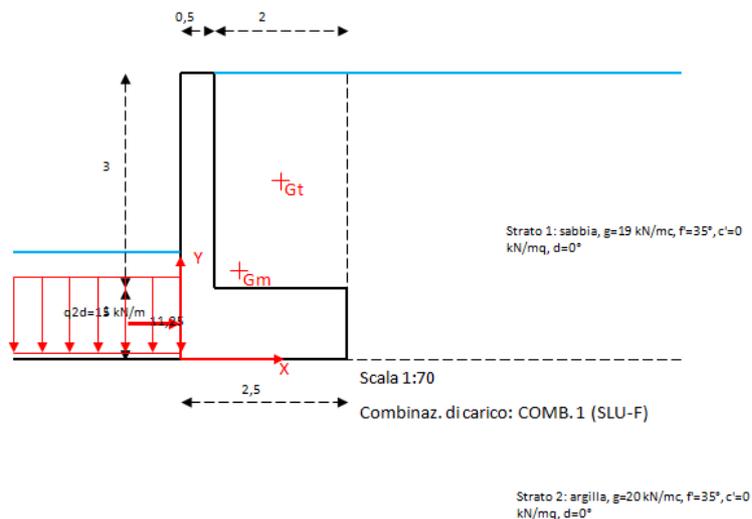
Nella dispensa vengono eseguiti i calcoli manualmente e si arriva ai seguenti risultati.

- Peso del muro = 100 kN/m
- Peso del terreno soprastante la mensola di fondazione di monte = 114 kN/m
- Coefficiente di spinta attiva del terrapieno spingente = 0,27
- Spinta attiva (lungo il diaframma verticale passante per il punto estremo di monte della fondazione) = 99,52 kN/m
- Pressione neutra punto C, $u_C = 40 \text{ kN/m}^2$
- Pressione neutra punto D, $u_D = 15 \text{ kN/m}^2$
- Sottospinta = 68,75 kN/m
- Coefficiente di sicurezza al ribaltamento = 1,14
- Coefficiente di sicurezza a scorrimento = 0,60

Per svolgere lo stesso esempio con *Muri.Az* occorre impostare:

- N° strati=2
- Normativa alle tensioni ammissibili
- Presenza di falda in condizioni drenate ($z_{wm}=0$ m, $z_{wv}=2,5$ m)
- Muro in c.a.
- sovraccarico uniforme a valle, di tipo permanente, di intensità pari a $q_2=\gamma_w*1,5=15$ kN/m²
- forza concentrata permanente da valle verso monte di intensità pari a $F_{XW}=\gamma_w*H_w*H_w/2=11,25$ kN/m (segno negativo, applicata nel punto $X=0$ m e $Y=H_w/3=0,5$ m)
- Metodo di calcolo della spinta: integrazione pressioni di spinta con coeff. di spinta di Coulomb ...

Si ottengono i risultati seguenti:



AREE, PESI E BRACCI (rispetto all'origine del sist. di riferimento)

Muro

area = 4 mq

peso = 100,00 kN/m

ascissa baricentro muro = 0,88 m

ordinata baricentro muro = 1,25 m

Terreno di riporto sopra la fondazione a monte

area = 6 mq

peso = 114,00 kN/m

ascissa baricentro terreno = 1,5 m

ordinata baricentro terreno = 2,5 m

VERIFICA AL RIBALTAMENTO (rispetto all'estremo di fondazione di valle)

coefficiente di spinta attiva, $K_a=0,27099$

Spinta dovuta al terrapieno, $St=99,51$ kN/m

componente orizzontale, $St_h=99,51$ kN/m

braccio componente orizzontale, $Y_{St}=1,33$ m

componente verticale, $St_v=0,00$ kN/m

braccio componente verticale, $X_{St}=2,5$ m
Spinta dovuta al sovraccarico sul terrapieno, $S_q=0,00$ kN/m
componente orizzontale, $S_{qh}=0,00$ kN/m
braccio componente orizzontale, $Y_{Sq}=0$ m
componente verticale, $S_{qv}=0,00$ kN/m
braccio componente verticale, $X_{Sq}=2,5$ m
Spinta complessiva, $S_{tT}=99,51$ kN/m
Sottospinta, $S_w=68,75$ kN/m
braccio sottospinta verticale, $X_{Sw}=1,44$ m
Momento ribaltante, $M_{rib}=226,04$ kN*m/m
Momento stabilizzante, $M_{stab}=258,50$ kN*m/m
Coeff. di sicurezza = 1,14

Attenzione: non verifica!!!

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO (piano di posa)

Componente orizzontale risultante forze che si scaricano alla base del muro, $R_H=88,26$ kN/m
Componente verticale risultante forze che si scaricano alla base del muro, $R_V=214,00$ kN/m
Componente parallela alla superf. scorrim (al netto della spinta passiva a valle), $R_T=88,26$ kN/m
Resistenza lungo la superficie di scorrimento muro-terreno o muro-magrone, $T_{lim}=52,87$ kN/m
coeff. di sicurezza superf. separazione muro-magrone o muro-terreno = 0,6

Attenzione: non verifica!!!

Come si può notare i risultati di *Muri.Az* sono perfettamente coincidenti con quelli ottenuti dall'autore del testo citato.

TEST DI VERIFICA N° 6 – VERIFICA A CARICO LIMITE E VERIFICA STRUTTURALE

Con riferimento al muro di cui agli esercizi precedenti, si effettui la verifica a carico limite sul piano di posa della fondazione e la verifica strutturale sulla sezione di separazione fra fondazione e muro in elevazione (esercizio 3.18 di [1] pag. 154).

Sul piano di posa della fondazione nel libro viene calcolata una eccentricità del carico in fondazione di 0,165 m, esterno al nocciolo centrale di inerzia della base di fondazione. Poi viene condotta la verifica a schiacciamento sul terreno con una procedura non più ammessa dalla normativa.

Nella sezione fra fondazione ed elevazione si ottiene una eccentricità del centro di pressione pari a 0,129 m (momento ribaltante=444 kgm, momento stabilizzante=1112 kgm, sforzo normale in sezione=2648 kg, $u=0,252$ m). Il centro di pressione coincide praticamente con l'estremo del nocciolo centrale di inerzia. La sezione non è parzializzata e la tensione massima di compressione vale 0,70 kg/cm²

Risultati ottenuti con Muri.Az

Con riferimento al piano di posa della fondazione e alla verifica al carico limite si ottengono i seguenti risultati:

Risultante dei carichi in fondazione, $R=3.643,62$ kg
componente normale al piano posa fondazione, $R_n=3.475,25$ kg
componente tangenziale al piano posa fondazione, $R_t=1.094,80$ kg
angolo di inclinazione di R rispetto alla normale al piano di posa fondaz. = 17,49°

momento ribaltante, $M_{rib}=807,93 \text{ kg}\cdot\text{m}$
momento stabilizzante, $M_{stab}=1.733,20 \text{ kg}\cdot\text{m}$
eccentricità di R, $E_c=-0,16 \text{ m}$

Come si vede il valore dell'eccentricità è identico a quello del libro.

Per la sezione tra fondazione ed elevazione:

VERIFICHE STRUTTURALI (metodo delle Tensioni Ammissibili)

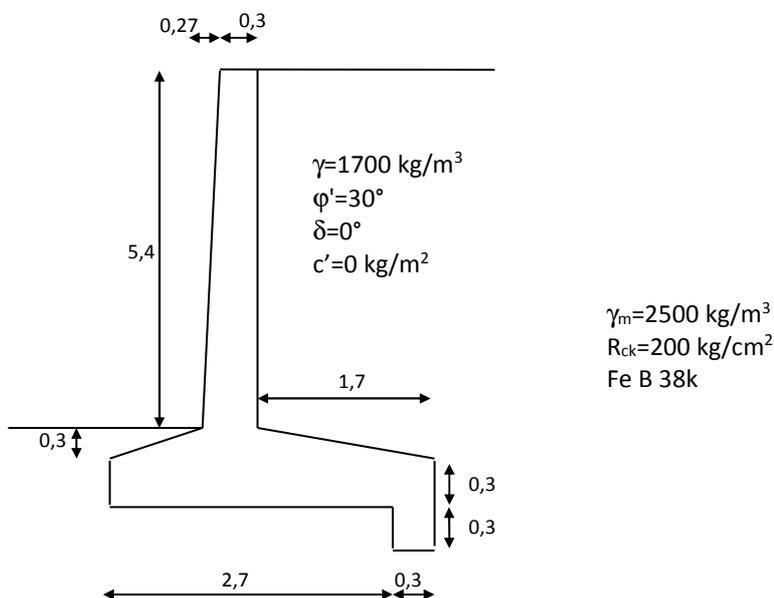
Sez. 1-1 (distanza sezione rispetto alla testa del muro = 1,62 m largh. sez B = 0,76 m)

spinta attiva dovuta al terrapieno, $S_{at} = 568,95 \text{ kg}$
spinta attiva dovuta al sovraccarico, $S_{aq} = 168,58 \text{ kg}$
spinta attiva complessiva, $S_a = 737,53 \text{ kg}$
componente orizz. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = $737,53 \text{ kg}$
componente vertic. della risultante delle forze che si scaricano sulla sezione = $2647,73 \text{ kg}$
Momento ribaltante = $443,78 \text{ kg}\cdot\text{m}$
Momento stabilizzante = $1111,77 \text{ kg}\cdot\text{m}$
eccentricità dello sforzo normale, $e = -0,13 \text{ m}$ ($u = 0,25 \text{ m}$)
sforzo normale, $N_x = -2647,73 \text{ kg}$
taglio, $T_z = -737,53 \text{ kg}$
momento flettente, $M_y = 340,8 \text{ kg}\cdot\text{m}$
sezione parzializzata ($B/6=0,13 \text{ m}$)
tensione massima nella sezione = $0,7 \text{ kg}/\text{cm}^2$
tensione media = $0,35 \text{ kg}/\text{cm}^2$
tensione tangenziale max = $0,15 \text{ kg}/\text{cm}^2$
verifiche a presso-flessione e taglio soddisfatte

Come si può notare i risultati sono perfettamente coincidenti.

TEST DI VERIFICA N° 7 – CALCOLO MURO A SBALZO IN C.A.

Si calcoli il seguente muro in c.a. (esercizio 3.25 di [1] pag. 194), con il metodo alle tensioni ammissibili D.M. 11/03/1988. Terreni di fondazione, spingente e di riporto sopra la mensola di fondazione di monte di uguali caratteristiche geotecniche. Angolo di attrito terreno-muro sul piano di posa della fondazione $\delta' = 30^\circ,964$ ($f = \tan \delta' = 0,6$).



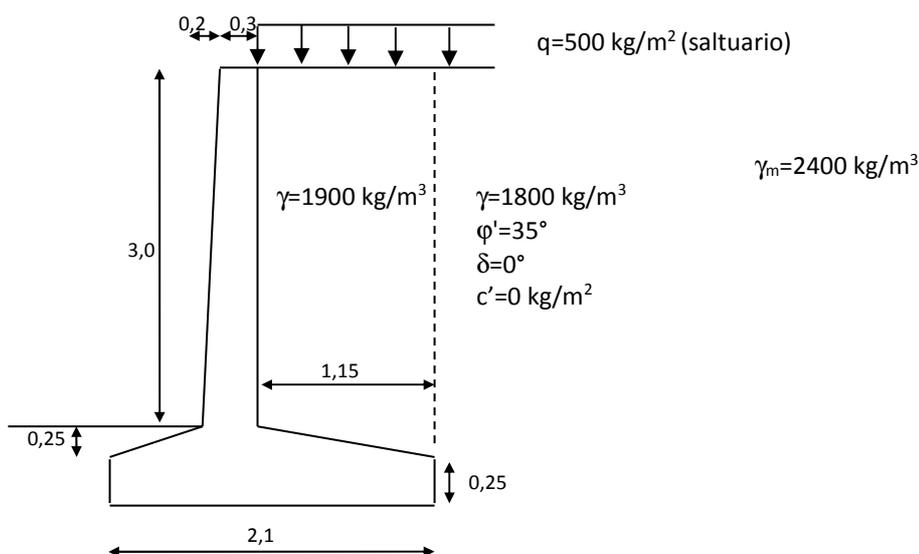
Si elencano i principali risultati confrontando i valori riportati nel libro con quelli ottenuti con *Muri.Az*

Parametro	Libro [1]	Muri.Az	Diff. %
Spinta della terra sul diaframma ideale verticale passante per il vertice di monte della fondazione (kg)	11.246	11.245,5	0,0%
Peso del manufatto (kg)	9.685	9.686,25	0,0%
Peso del terreno soprastante la mensola di fondazione di monte (kg)	16.040	16.039,5	0,0%
Momento ribaltante (kgm)	20.243	20.241,9	0,0%
Momento stabilizzante (kgm)	46.696	46.697,11	0,0%
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2,31	2,31	0,0%
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1,86	1,85	-0,5%
Eccentricità della risultante in fondazione (m)	0,47	0,47	0,0%
Momento flettente che sollecita la mensola di fondazione di valle (kgm)	3.809	3.824,09	0,4%
Taglio che sollecita la mensola di fondazione di valle (kg)	9.867	9.906,74	0,4%
Momento flettente che sollecita la mensola di fondazione di monte (kgm)	-10.433	-10.431,77	0,0%
Taglio che sollecita la mensola di fondazione di monte (kg)	9.572	9.557,93	-0,1%
Momento flettente che sollecita la sezione di attacco della mensola di elevazione alla fondazione (kgm)	14.501	14.516,21	0,1%
Taglio che sollecita la sezione di attacco della mensola di elevazione alla fondazione (kg)	8.254	8.262	0,1%

Si può notare la perfetta corrispondenza dei risultati forniti dal software a quelli ottenuti in letteratura con procedure analitiche indipendenti.

TEST DI VERIFICA N° 8 – CALCOLO MURO A SBALZO IN C.A.

Si calcoli il seguente muro in c.a. (esempio n. 3 di [3], pag. 111), con la normativa di riferimento D.M. 11/03/1988+D.M. 16/01/1996. L'angolo di attrito terreno-muro sul piano di posa della fondazione è $\delta' = 35^\circ$ ($f = \tan \delta' = 0,7$).



Si elencano i principali risultati confrontando i valori riportati nel libro con quelli ottenuti con *Muri.Az*

Muri.Az 11.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Validazione del software	Pag. 10 di 10
--	---------------------------------	---------------

Parametro	Libro [2]	Muri.Az (combinaz. 2)	Diff. %
Spinta della terra sul diaframma ideale verticale passante per il vertice di monte della fondazione (kg)	2.990	2.987,67	-0,1%
Spinta sul diaframma ideale verticale passante per il vertice di monte della fondazione dovuta al sovraccarico (kg)	470	474,23	0,9%
Peso del manufatto (kg)	4.920	4.920	0,0%
Peso del terreno di riporto sopra la mensola di fondazione di monte (kg)	6.830	6.828,13	0,0%
Momento ribaltante (kgm)	4.320	4.315,52	-0,1%
Momento stabilizzante (kgm)	14.630	15.523,61	6,1%
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3,39	3,60	6,2%
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	2,38	2,49	4,6%
Eccentricità della risultante in fondazione (m)	0,17	0,14	17,6%
Momento flettente che sollecita la mensola di fondazione di valle (kgm)	720	717,56	0,3%
Taglio che sollecita la mensola di fondazione di valle (kg)	3.060	3.068,45	0,3%
Momento flettente che sollecita la mensola di fondazione di monte (kgm)	1.940	1.946,70	0,3%
Taglio che sollecita la mensola di fondazione di monte (kg)	2.820	2.915,09	3,4%

Si può notare la corrispondenza dei risultati forniti dal software a quelli ottenuti in letteratura con procedure analitiche indipendenti. La differenza su alcuni parametri è dovuta al fatto che in *Muri.Az* si considera, nella combinazione di carico 2 presa a riferimento che vede la presenza del sovraccarico, l'effetto del predetto sovraccarico, aspetto che invece viene trascurato nel libro citato.

3. Bibliografia

- [1] Di Pasquale S., Messina C., Paolini L., Furiozzi B. – *Costruzioni*, vol. 3 – Le Monnier editore, Firenze, 1997 (libro di testo per gli Istituti Tecnici per Geometri)
- [2] Simeoni Lucia – *Esercizi di esame risolti, 6. Problemi al collasso: carico limite di fondazioni e stabilità muri di sostegno* – Università degli Studi di Trento – Corsi di Geotecnica 1, Geotecnica 2 e Meccanica delle terre e delle rocce, <http://www.ing.unitn.it/~simeoni1/Esercizi.html>
- [3] Gavarini C. et al. – *Costruzioni*, vol. 3 – Hoepli editore

Data emissione documento: **Marzo 2021**