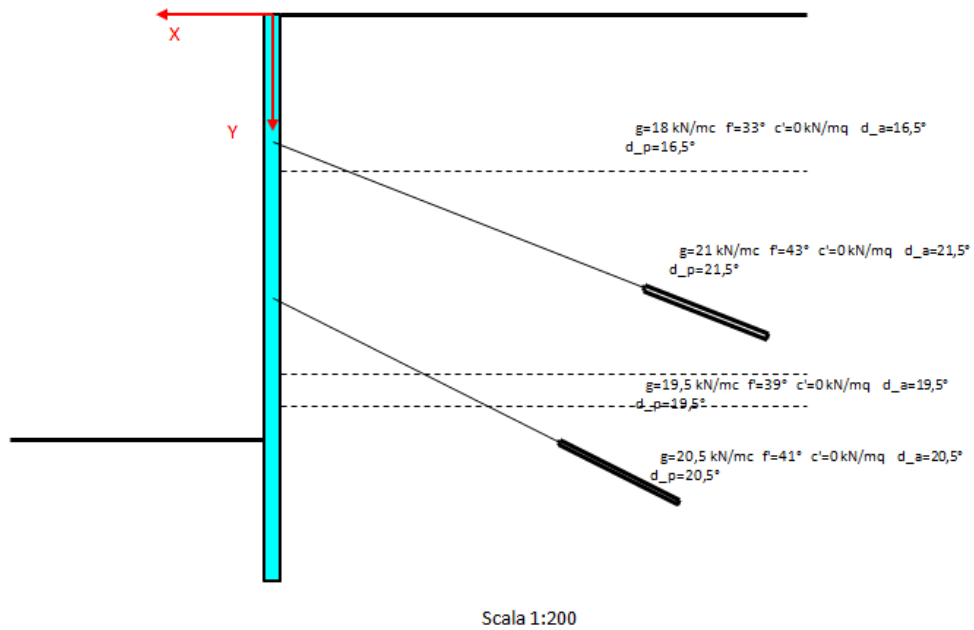


Paratie.Az

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

(versione 9.0)



Manuale d'uso

Autore

Ing. Ciro Azzara

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

Cell. 348 1514947

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

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 2 di 88
---	----------------------	--------------

Sommario

1. INTRODUZIONE	4
2. AVVIO DEL SOFTWARE.....	5
3. SISTEMI DI RIFERIMENTO.....	8
4. MENÙ DATI GENERALI	8
4.1 Dati generali	9
4.1.1 Unità di misura.....	9
4.1.2 Normativa di riferimento.....	10
4.1.3 Dati costruzione.....	12
4.2 Metodo di calcolo e impostazioni.....	12
4.2.1 Metodo di calcolo generale.....	12
4.2.2 Analisi per combinazioni di carico e analisi per fasi di scavo.....	13
4.2.3 Falda e Condizioni di rottura.....	14
4.2.4 Stratigrafia	14
4.2.5 Ulteriori verifiche da eseguire	15
5. TIPOLOGIA.....	15
6. MENÙ GEOMETRIA.....	15
6.1 Paratia e falda.....	16
6.2 Stratigrafia.....	17
6.3 Sezione in pianta.....	17
6.4 Tiranti.....	20
6.5 Puntoni.....	21
6.6 Cordoli tiranti/puntoni.....	22
7. MENÙ MATERIALI.....	23
7.1 Terreni.....	23
7.2 Contatto terreni-paratia.....	24
7.3 Terreni (tiranti)	24
7.4 Coefficienti di Winkler.....	28
7.5 Paratia.....	30
7.6 Cordolo/trave di testa.....	31
7.7 Cordoli tiranti/puntoni.....	31
7.8 Tiranti.....	31
7.9 Puntoni.....	32
8. NODI E VINCOLI	32
9. FORME DI CARICO	33
10. MENÙ CARICHI ESTERNI	34
10.1 Sovraccarichi sui terreni	34
10.2 Tiro iniziale nei tiranti attivi	35
10.3 Carichi concentrati sulla paratia (nodali)	35
10.4 Carichi distribuiti sulla paratia.....	36
10.5 Azione sismica	37
10.6 Combinazioni di carico SLU.....	38
10.7 Combinazioni di carico S.L.E.	39
11. MENÙ ARMATURE	40
11.1 Paratia in c.a.	40
11.2 Cordoli di testa ed intermedi in c.a.....	41

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 3 di 88
---	----------------------	--------------

12. MENÙ IMPOSTAZIONI	41
12.1 Impostazioni	41
12.2 Verifiche SLE	42
12.3 Fasi di scavo	43
13. CALCOLO	44
14. OUTPUT (MENÙ VISUALIZZA)	44
15. LICENZA D'USO E RESTRIZIONI DEL SOFTWARE	48
APPENDICE 1 – VALORI INDICATIVI PROPRIETÀ FISICO-MECCANICHE TERRENI	50
APPENDICE 2 – GESTIONE ERRORI E REQUISITI DI SISTEMA	52
APPENDICE 3 – NOVITÀ NELLE VARIE VERSIONI DEL SOFTWARE	54
APPENDICE 4 – ESEMPI SVOLTI	56
1) Verifica paratia a sbalzo in terreno omogeneo con sovraccarico permanente – DM 11/03/1988	56
2) Calcolo profondità di infissione paratia a sbalzo su terreno omogeneo – DM 11/03/1988	58
3) Verifica paratia a sbalzo con sovraccarico accidentale – DM 17/01/2018	60
4) Calcolo profondità di infissione in terreno omogeneo incoerente in presenza di falda – DM 11/03/1988	62
5) Calcolo profondità di infissione in terreno omogeneo coerente – DM 11/03/1988	65
6) Verifica profondità di infissione paratia a sbalzo in terreni a grana grossa stratificati in presenza di falda – NTC 2018	67
7) Calcolo strutturale e geotecnico di una paratia di pali in c.a. – NTC 2018	69
8) Calcolo strutturale e geotecnico di una palanca in acciaio – NTC 2018	72
9) Calcolo di una palanca in acciaio con il metodo agli elementi finiti	75
10) Calcolo di una paratia in C.A. multitirantata con il metodo agli elementi finiti	79
11) Analisi non lineare per fasi di scavo di una berlinese tirantata	82
12) Analisi non lineare di una palanca metallica con puntone	85
BIGLIOGRAFIA	88

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 4 di 88
---	----------------------	--------------

1. INTRODUZIONE

Il presente applicativo, sviluppato in ambiente Microsoft Excel^{®1}, effettua il **calcolo geotecnico e strutturale** delle **paratie a sbalzo e ancorate** in terreni omogenei o stratificati, anche in presenza di pressioni neutre. È utilizzabile anche per il calcolo di scavi sbadacchiati.

La paratia può essere ancorata tramite **una o più file di puntoni o di tiranti** (provvisori o permanenti, attivi o passivi).

È possibile gestire sia **terreni a grana grossa incoerenti**, anche in **presenza di falda**, che **terreni a grana fina coerenti** con verifiche a breve termine, per mezzo delle pressioni totali ("condizioni non drenate") e a lungo termine per mezzo delle pressioni efficaci ("condizioni drenate").

I **profili topografici** dei terreni di monte e di valle possono anche essere inclinati sull'orizzontale.

È possibile tenere in conto della presenza di **sovraccarico**, sia permanente che saltuario, uniformemente ripartito sul terrapieno di monte e sul terrapieno di valle. È possibile considerare **forze e coppie concentrate** e **carichi distribuiti** che agiscono direttamente sulla paratia e **spostamenti impressi alla paratia** (ad esempio spostamento fissato in testa alla paratia o spostamenti nulli per la presenza di vincoli fissi).

Le paratie/palancole possono essere in **cemento armato** (pali disposti su una fila con fissato interasse, in due file a quinconce, diaframmi a sezione rettangolare), in **acciaio** (es. palancole con profili Larssen, Arcelor, micropali o berlinesi, profili a doppio T ecc.) o in materiale generico. Nel caso di paratie in c.a. viene effettuato il **progetto delle armature** con **disegno degli esecutivi**, restituiti anche in **file dxf**. È possibile prevedere e calcolare anche gli **elementi secondari** quali il **cordolo o trave di testa** e i **cordoli in corrispondenza della testa degli ancoraggi**.

L'analisi della paratia può essere eseguita sia in **condizioni statiche** sia in **condizioni sismiche**. I calcoli possono essere effettuati sia in base alla normativa di cui al **D.M. 11/03/1988** (approccio alle **Tensioni Ammissibili**), che in base alle Norme Tecniche sulle Costruzioni di cui al **D.M. 14/01/2008** e al recente **D.M. 17/01/2018** (nel seguito NTC o NTC 2018) con l'approccio agli **Stati Limite**.

Il calcolo della paratia può essere effettuato con i **metodi classici basati sull'equilibrio limite a rottura (LEM)** oppure con il **metodo agli elementi finiti (FEM)** con elementi trave a due nodi e molle elastiche (**analisi lineare**) o elasto-plastiche (**analisi non lineare**). Con il metodo classico possono effettuarsi sia il **calcolo di progetto** (fissato il coefficiente di sicurezza² si ricava la profondità di infissione D e la profondità D_R del punto di rotazione della paratia o la forza F che esplica il

¹ Per l'utilizzo di Paratie.Az è necessario che l'utente disponga del software Microsoft Excel[®] con regolare licenza d'uso.

² Il coefficiente di sicurezza deve essere fissato (valore tra 1,2 e 3 in relazione al grado di conoscenza delle caratteristiche dei terreni, dell'affidabilità del modello di calcolo utilizzato e delle conseguenze in caso di crollo) se si opera ai sensi del D.M. 11/03/1988. Con le NTC 2008 e 2018 il coefficiente di sicurezza è impostato dal programma in base al valore fornito dalla normativa.

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 5 di 88
---	----------------------	--------------

tirante/puntone, nel caso di paratie con un ordine di ancoraggi) che il **calcolo di verifica** (fissata la profondità di infissione D si ricavano la profondità del punto di rotazione D_R o la forza F che esplica il tirante/puntone e il coefficiente di sicurezza, che deve essere non inferiore al valore fissato dal progettista o dalle NTC²).

Con il metodo FEM, in cui la profondità di infissione deve essere fissata a priori, possono calcolarsi paratie anche con **più ordini di tiranti/puntoni**. La paratia viene discretizzata in una serie di elementi finiti tipo trave (beam), mentre il terreno viene schematizzato con una serie di molle a comportamento elastico o elastico-perfettamente plastico (da preferire). Con il metodo agli elementi finiti si ha il vantaggio di considerare la paratia con la sua effettiva rigidezza e si ottengono anche gli spostamenti della paratia (verifiche allo Stato Limite di Esercizio - SLE).

L'analisi FEM può essere eseguita **per fasi di scavo** (transitorio che comprende la fase di costruzione della paratia, **analisi incrementale**) o **per combinazioni di carico** (che vengono generate in automatico dal software).

Vengono altresì svolte (programma completo):

- la **verifica a carico limite verticale**, assimilando la trattazione ai pali di fondazione;
- la **verifica di stabilità globale** con il **metodo di Bishop** con cerchi di rottura circolari passanti per un punto in prossimità dello spigolo di monte della base della paratia;
- la **verifica a sifonamento**;
- la **verifica al sollevamento del fondo scavo**;
- le **verifiche agli Stati Limite di Esercizio** (spostamenti, fessurazione, tensione di esercizio).

Come per ogni software tecnico, l'utente di *Paratie.Az* deve essere un tecnico dotato di buona padronanza della materia (Geotecnica, Idraulica, Scienza e Tecnica delle Costruzioni) e deve conoscere i metodi e i principi a base delle tecniche risolutive adottate dal software; è sempre necessario che l'utente verifichi l'attendibilità dei risultati ottenuti.

L'applicativo, abbastanza semplice ed intuitivo, è molto indicato ai fini didattici oltre che per scopi professionali.

2. AVVIO DEL SOFTWARE

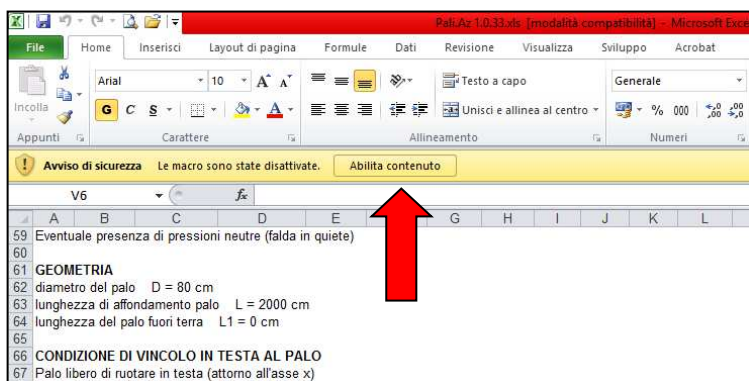
Il file contenente l'applicativo si **installa** come uno comune file e può essere allocato in qualsiasi cartella.

Per il funzionamento del software occorre che alla sua apertura le **macro** ivi inserite vengano attivate. Se compare l'*Avviso di sicurezza* di cui all'immagine seguente occorre premere sul pulsante "*Abilita contenuto*".

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 6 di 88
---	----------------------	--------------

Se non compare la schermata di presentazione del programma Fig. 1 (il che vuol dire che le macro non si sono attivate), occorre impostare il livello di protezione delle

macro a “medio” o “basso”. Per fare ciò occorre:



- ✓ se si utilizza Microsoft Excel 1997, 2000, 2003: scegliere il menù *Strumenti*, quindi *Macro*, *Protezione* e

scegliere il livello di protezione: se si sceglie “media” occorre premere il bottone “attiva macro” quando si aprirà l’applicativo *Paratie.Az*;

- ✓ se si utilizza Microsoft Excel 2007, 2010, 2013 o successivi: visualizzare il menù **Sviluppo** con la seguente procedura:

- con Excel 2007: fare clic sul pulsante in alto a sinistra **Microsoft Office** e quindi su **Opzioni di Excel**, scegliere **Impostazioni generali** e quindi selezionare la casella di controllo **Mostra scheda Sviluppo sulla barra multifunzione**;
- con Excel 2010/2013: fare clic sul pulsante in alto a sinistra **Microsoft Office** e quindi su **Opzioni di Excel**, scegliere **Personalizza barra multifunzione** e spuntare, nell’elenco *Schede principali*, la voce *Sviluppo*.

Successivamente dal menù Sviluppo scegliere **Protezione macro** => **Impostazioni macro** => scegliere **Attiva tutte le macro** o **Disattiva tutte le macro con notifica**, quindi chiudere e riaprire *Paratie.Az*. Nella barra dei menù in alto a destra si formerà il menù “**Componenti aggiuntivi**” che comprenderà i menù personalizzati di *Paratie.Az*.

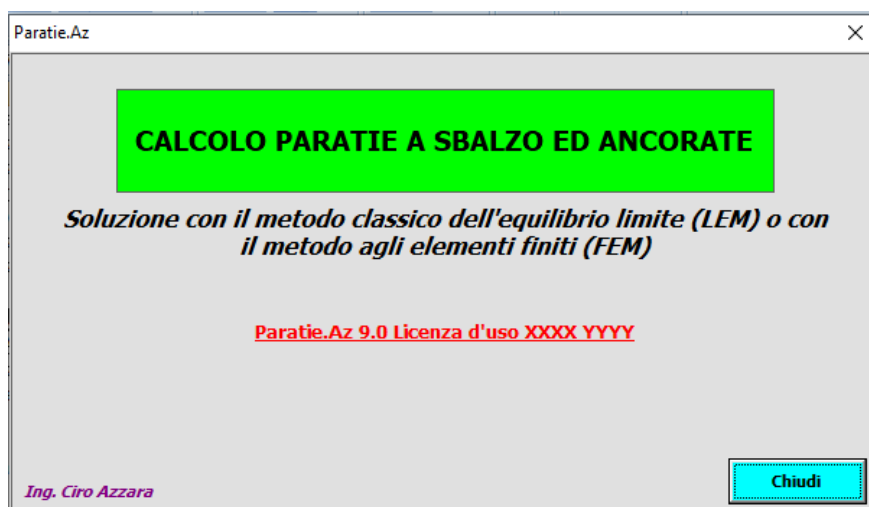


Fig. 1 Schermata di presentazione del software

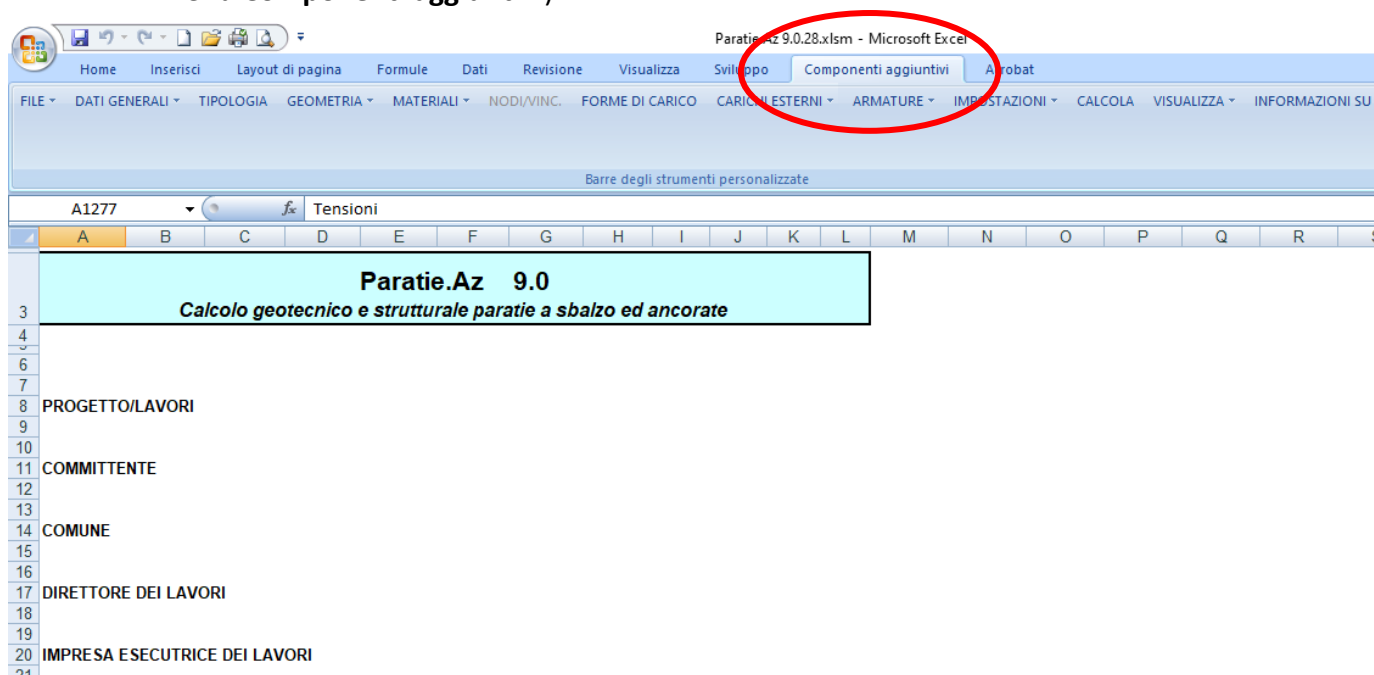
Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 7 di 88
---	----------------------	--------------

Il software funziona perfettamente ma ha una durata limitata nel tempo. Per eliminare la limitazione temporale occorre **attivarlo** dal menù INFORMAZIONI SU inserendo il codice di attivazione fornito dall'autore. A tale scopo l'utente deve preventivamente comunicare all'autore il **codice HD** che viene visualizzato nel menù INFORMAZIONI SU, tenendo conto che alle volte detto codice è preceduto da un segno meno "-". Il codice di attivazione è riferito al solo PC su cui è stato installato il software e sui cui quindi si è letto il codice HD. Ad attivazione avvenuta è possibile inserire il titolare della licenza d'uso.

Il software non attivato è comunque funzionante per un certo periodo di tempo e per un determinato numero di volte ma **non può essere utilizzato per scopi professionali** (il tabulato di calcolo e ogni altro riferimento al software non possono essere allegati a progetti sia pubblici che privati).

Avviato il software (anche se non attivato) appare la **schermata di presentazione** qui accanto in cui è indicato, tra l'altro, il titolare della licenza d'uso.

Chiusa la schermata di presentazione, l'area di lavoro di *Paratie.Az* si presenta come segue (notare la barra menù personalizzata, che in Excel 2007 e seguenti è sotto il menù **Componenti aggiuntivi**):

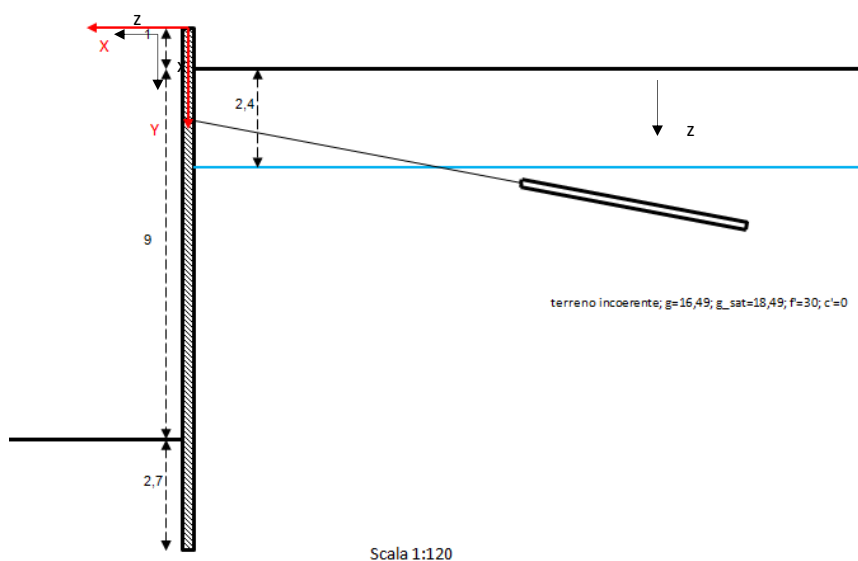


Il **menù FILE** (il primo da sinistra) contiene i comandi per:

- effettuare un nuovo calcolo: vengono cancellati tutti i dati riferiti al precedente calcolo, previo avviso di conferma;
- salvare il calcolo con le modifiche apportate;
- salvare le modifiche in un altro file (Salva con nome...), da allocare ovunque si vuole;
- effettuare l'anteprima di stampa;

- stampare il tabulato di calcolo e i disegni;
- impostare l'area di stampa;
- cancellare l'area di stampa precedentemente impostata.

3. Sistemi di riferimento



Il sistema di riferimento globale o assoluto XYZ (in rosso) ha l'origine nel punto medio della sezione superiore della paratia, asse X orizzontale verso valle, asse Y verticale verso il basso (coincidente con

l'asse della paratia), asse Z ortogonale al piano del disegno e uscente.

Sono poi assunti altri due **sistemi di riferimento locali** come indicati sopra: asse verticale z verso il basso per il terreno (calcolo delle tensioni nel terreno), con origine nel piano orizzontale passante per il punto di intersezione tra profilo del terreno di monte e la paratia, e gli assi x,y,z per il calcolo strutturale della paratia (asse x coincidente con quello della paratia e quindi con l'asse globale Y, asse z orizzontale verso valle e quindi coincidente con l'asse globale X, asse y ortogonale al piano del disegno e uscente e quindi coincidente con l'asse globale Z).

Il calcolo della paratia viene eseguito con riferimento ad una striscia di lunghezza pari ad un metro e quindi, in genere, le grandezze (spinte dei terreni, momento flettente, taglio, sforzo normale, ...) sono riferite all'unità di lunghezza lungo l'asse globale Z.

Per i dati di input rappresentati da numeri decimali occorre usare il carattere virgola “,”. Durante la fase di inserimento dei dati di input è opportuno effettuare ogni tanto il “salvataggio” degli stessi per mezzo del menù FILE o premendo il relativo pulsante



4. Menù DATI GENERALI

4.1 Dati generali

DATI GENERALI

Progetto/Lavori

Committente

Comune

Progettista/Tecnico

Direttore Lavori

Impresa esecutrice

Annotazioni

Ing. Ciro Azzara

Sistema per le unità di misura

☐ Sistema Tecnico (kg, m)
☒ Sistema Internazionale (N, m)

Normativa di riferimento

☐ D.M. 11/03/1988 + D.M. 16/01/1996 (Tensioni Ammiss.)
☐ D.M. 14/01/2008 (Stati Limite)
☒ D.M. 17/01/2018 (Stati Limite)

Dati costruzione

10

 Vita nominale di progetto (anni)

Classe II

 Classe d'uso costruzione

1

 Coeff. d'uso (valore da NTC: 1,0)

Annulla

Salva e chiudi

Il pannello DATI GENERALI permette di inserire i dati generali sul calcolo da effettuare.

Il nominativo indicato nel campo

“Progettista/Tecnico” viene riportato in calce al tabulato di calcolo.

4.1.1 UNITÀ DI MISURA

Per le unità di misura si può adottare sia il Sistema Tecnico che il Sistema Internazionale:

grandezza	Unità di misura	
	Sistema Tecnico	Sistema Internazionale
Calcoli generali e geotecnici		
dimensioni geometriche, lunghezze, coordinate [L]	m	m
aree sezioni	m ²	m ²
volumi	m ³	m ³
momenti di inerzia sezioni	m ⁴	m ⁴
forze concentrate, resistenza alla punta e laterali, sforzi normali e di taglio [F]	kg	kN
momenti stabilizzanti e instabilizzanti, momenti flettenti e torcenti, coppie, rigidzze rotazionali vincoli	Kg m	KN m
carichi distribuiti per unità di lunghezza, spinte delle terre per metro lineare di paratia, rigidzze traslazionali vincoli	kg/m	kN/m
carichi distribuiti per unità di superficie, coesione terreno	kg/m ²	kN/m ² =kPa
pesi specifici materiali e terreni	kg/m ³	kN/m ³
costante di sottofondo o di Winkler	kg/cm ³	N/cm ³
tempi [T]	sec	sec
velocità e accelerazioni	m/s m/s ²	m/s m/s ²
Calcoli strutturali		
dimensioni, copriferro, interferro	cm	cm
diametri tondini metallici, trefoli, staffe e spirali	mm	mm
aree sezioni	cm ²	cm ²
volumi	cm ³	cm ³
momenti statici e moduli di resistenza sezioni	cm ³	cm ³
momenti di inerzia sezioni	cm ⁴	cm ⁴
tensioni/pressioni, resistenze caratteristiche, tensioni ammissibili, moduli elastici dei materiali	kg/cm ²	N/mm ²

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 10 di 88
---	----------------------	---------------

Attenzione: quando si varia il sistema di riferimento (ad esempio da S.T. a S.I.) con i dati di input già inseriti, ricordarsi di cambiare i valori dei vari parametri di input per adeguarli alle nuove unità di misura; ad esempio il valore del peso dell'unità di volume del terreno di 1.800 kg/mc nel S.T. passa a 18 kN/mc nel S.I.

4.1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa di riferimento ha riflessi essenzialmente su:

- coefficienti di amplificazione delle azioni (A), coefficienti di riduzione delle resistenze dei materiali (M) e coefficienti di sicurezza dei sistemi geotecnici (R);
- calcolo dell'azione sismica;
- metodo per le verifiche di sicurezza strutturali (Stati Limite Ultimi o Tensioni Ammissibili).

Con le NTC del 2018 e con quelle del 2008 si adotta, per le verifiche di sicurezza sia di tipo geotecnico che strutturale, il **metodo agli Stati Limite Ultimi (SLU)**. Vengono introdotti i cosiddetti coefficienti parziali da applicare alle azioni (A), ai parametri di resistenza dei terreni e materiali (M) e alle resistenze globali (R). La scelta appropriata di tali coefficienti parziali, i cui valori sono fissati dalla norma, individua i cosiddetti **Approccio 1** e **Approccio 2**. L'approccio progettuale 1, in generale, comprende due combinazioni di coefficienti (combinazione 1: A1+M1+R1; combinazione 2: A2+M2+R2). L'approccio 2 invece è costituito dall'unica combinazione A1+M1+R3.

I **coefficienti parziali γ_F** relativi alle azioni (A), stabiliti dalle NTC, sono i seguenti:

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

I **coefficienti parziali γ_M** relativi ai parametri geotecnici (M), stabiliti dalle NTC, sono i seguenti:

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_f	1,0	1,0

Da notare che i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici previsti dalla NTC 2018 sono gli stessi di quelli previsti dalle NTC 2008.

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 11 di 88
---	----------------------	---------------

Nello specifico per le paratie la verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno viene condotta secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2), mentre le rimanenti verifiche SLU di tipo geotecnico vengono fatte secondo la sola Combinazione 2 (che è sempre, tranne casi rarissimi in cui l'angolo di attrito è inferiore a 15°, la condizione più gravosa) e le verifiche degli stati limite di tipo strutturale secondo la sola Combinazione 1 (coefficienti parziali dei terreni pari a 1, ovvero parametri caratteristici).

Nella seguente tabella vengono indicati i coefficienti parziali utilizzati per le singole verifiche:

Verifiche	NTC 2008		NTC 2018	
	combinaz. statiche	combinaz. sismiche	combinaz. statiche	combinaz. sismiche
Rotazione attorno a un punto dell'opera	A2+M2+R1	A0+M2+R1	A2+M2+R1	A0+M1+R1
Carico limite verticale	R1: 1,0		R1: 1,0	
	A2+M1+R2	A0+M1+R2	A1+M1+R3	A0+M1+R3
	R2: $\gamma_{base}=1,45$ per pali battuti, 1,7 per pali trivellati e 1,6 per pali ad elica; $\gamma_{lat}=1,45$; $\gamma_{lat, traz}=1,6$		R3: $\gamma_{base}=1,15$ per pali battuti, 1,35 per pali trivellati e 1,3 per pali ad elica; $\gamma_{lat}=1,15$; $\gamma_{lat, traz}=1,25$	
Stabilità globale	A2+M2+R2	A0+M2+R2	A2+M2+R2	A0+M1+R2
	R2: 1,1		R2: 1,1	
Sfilamento tiranti	A1+M1+R3	A0+M1+R3	A1+M1+R3	A0+M1+R3
	R3: 1,1 tiranti provvisori; 1,2 tiranti permanenti		R3: 1,1 tiranti provvisori; 1,2 tiranti permanenti	
Strutturali paratia	A1+M1	A0+M1	A1+M1	A0+M1
Strutturali tiranti	A1+M1	A0+M1	A1+M1	A0+M1
Idrauliche	A _{UPL} +M2 A _{HYD} +M2		A _{UPL} +M2 A _{HYD} +M2 Sifonamento R: 2,0	

A0 = azioni permanenti e accidentali non amplificate

R = coefficiente parziale di sicurezza sulla singola verifica

Con la normativa di cui al D.M. 11/03/1988, invece, si adotta per le verifiche di sicurezza di tipo geotecnico e strutturale il **metodo alle Tensioni Ammissibili**, con le azioni sismiche valutate come da D.M. 16/01/1996. Le azioni non vengono amplificate (A0), i parametri di resistenza dei terreni non vengono ridotti (e come se si utilizzano i valori M1) e si assumono come coefficienti di sicurezza nei riguardi delle verifiche geotecniche i seguenti valori:

- verifica alla rotazione intorno a un punto dell'opera: valore deciso dal progettista (compreso tra 1,2 e 3, in relazione al grado di conoscenza delle caratteristiche dei terreni, dell'affidabilità del modello di calcolo utilizzato e delle conseguenze in caso di crollo)
- verifica al carico limite del complesso opera – terreno: 2,5
- verifica di stabilità globale: 1,3
- verifica allo sfilamento dei tiranti: 2
- verifica al sifonamento: valore deciso dal progettista (compreso tra 2 e 5)

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 12 di 88
---	----------------------	---------------

- verifica a sollevamento del fondo scavo: valore deciso dal progettista (compreso tra 1 e 5).

4.1.3 DATI COSTRUZIONE

I dati sulla costruzione, che incidono tra l'altro sul calcolo dell'azione sismica, vanno inseriti quando si procede con le NTC 2008 o con le NTC 2018.

La **vita nominale di progetto** V_N dell'opera strutturale si individua in base alle

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

indicazioni della tabella 2.4.I delle NTC.

La Classe d'uso si fissa, tra le quattro previste dalla

norma di cui al paragrafo 2.4.2. NTC, avuto riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso. Alla classe d'uso fissata corrisponde il coefficiente d'uso di cui alla tabella 2.4.II (il software evidenzia il valore da NTC).

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adotteranno valori di C_U anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

4.2 Metodo di calcolo e impostazioni

4.2.1 METODO DI CALCOLO GENERALE

Come già detto, con il metodo LEM possono essere effettuati sia il calcolo di progetto che di verifica. Con il metodo FEM (solo calcolo di verifica) si può procedere o con la **mesh manuale**, precisando il numero dei nodi che compongono la struttura, o (da preferire) con la **mesh automatica**, precisando la lunghezza media L_{me} dell'elemento finito (più basso è L_{me} più precisi saranno i calcoli, ma ciò avviene a scapito dell'onere computazionale e dei tempi di calcolo che possono aumentare sensibilmente). In genere L_{me} si può assumere tra 0,1 e 0,5 m.

IMPOSTAZIONI E METODI DI CALCOLO ✕

Metodo di calcolo generale

☒ metodo classico sull'equilibrio limite (LEM)

☐ calcolo di progetto ☒ calcolo di verifica

☐ metodo agli elementi finiti (FEM)

☐ mesh manuale n° nodi
☒ mesh automatica lung. media elem. finito (m)

☒ analisi per combinaz. di carico ☐ analisi per fasi di scavo

Falda

☒ assente

☐ in quiete

☐ in moto di filtrazione permanente

Condizioni di rottura

☒ Condizioni DRENATE (terreni a grana grossa o media; terreni a grana fina con verifica a lungo termine o con applicazione lenta dei carichi)

☐ Condizioni NON DRENATE (terreni a grana fina - verifiche sia a breve che a lungo termine)

Opzioni e scelte di calcolo

☐ considera l'azione sismica

Stratigrafia

n° di strati (1 per terreno omogeneo)

Ulteriori verifiche da eseguire

☒ verifica al carico limite alle azioni verticali (GEO)

☒ verifica di stabilità globale (GEO)

☒ verifiche strutturali (STR)

☒ agli stati limite di esercizio (SLE)

Annulla

Salva e chiudi

Con la mesh manuale occorre inserire le coordinate assolute dei nodi e i vincoli esterni con le loro rigidezze (vedi oltre).

Con la mesh automatica il software inserisce nodi:

- agli estremi della paratia
- nella linea di fondo scavo
- nelle superfici di separazione tra gli strati dei terreni
- in corrispondenza dei punti di ancoraggio dei tiranti/puntoni
- in corrispondenza dei punti di applicazione di eventuali forze concentrate sulla paratia
- in vari punti intermedi in modo che la distanza tra due nodi successivi sia prossima al parametro L_{me} fissato.

Si fa rilevare che è quasi sempre opportuno scegliere la mesh automatica, che consente di evitare all'utente l'inserimento manuale dei dati. Qualora fosse necessario modificare i dati della mesh automatica (ad esempio per modificare rigidezze dei vincoli o per inserire vincoli fissi o spostamenti impressi), una volta eseguito il calcolo con la mesh automatica, ritornare sul presente pannello e spuntare la voce "mesh manuale". Ciò consente di attivare il pannello NODI/VINC. (v. oltre) da cui fare le modifiche volute e lanciare di nuovo il calcolo.

4.2.2 ANALISI PER COMBINAZIONI DI CARICO E ANALISI PER FASI DI SCAVO

L'analisi per combinazioni di carico considera l'opera nella configurazione finale a valle di tutte le fasi di scavo e di realizzazione della paratia.

L'analisi per fasi di scavo è importante nelle paratie tirantante o puntonate in quanto permette di considerare nel calcolo delle sollecitazioni le fasi intermedie di costruzione della paratia ("analisi incrementale" in quanto in una fase si tiene conto dello stato di deformazione e sollecitazione delle fasi precedenti). Può infatti

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 14 di 88
---	----------------------	---------------

accadere che, per le paratie con tiranti attivi, le condizioni di sollecitazione più gravose siano quelle provvisoriale immeditamente prima della tesatura dei tiranti che stabilizzano l'opera di sostegno. Analizzare la paratia per fasi di scavo oppure "direttamente" può portare a risultati diversi in termini di spostamento e sollecitazioni nell'opera e nei tiranti.

Ad ogni fase di scavo corrisponde una ben precisa configurazione caratterizzata da:

- una certa quota di scavo H
- un certo numero di tiranti/puntoni azionati
- una ben precisa disposizione dei carichi applicati (sul terrapieno di monte e/o di valle, sulla paratia, azioni sismiche).

4.2.3 FALDA E CONDIZIONI DI ROTTURA

Occorre scegliere le condizioni di rottura tra **drenate** e **non drenate**, a seconda del caso di studio. In assenza di falda si hanno sempre le condizioni drenate. In terreni a grana grossa o media, anche in presenza di falda, essendo la permeabilità molto elevata la pressione dell'acqua non subisce incrementi anche per movimenti bruschi della paratia (a meno che si verifichino condizioni eccezionali come ad esempio azioni sismiche ripetute), per cui si opera con l'analisi in termini di pressioni efficaci (condizioni di rottura drenate). L'analisi in condizioni drenate si effettua anche nei terreni a grana fina in cui si vogliono effettuare le verifiche a lungo termine o in paratie con applicazione molto lenta dei carichi.

In terreni a grana fina (argille e limi) con analisi a breve e medio termine, la pressione dell'acqua subisce incrementi rispetto al valore idrostatico anche per movimenti normali della paratia; in questo caso si opera in termini di pressioni totali (condizioni di rottura non drenate). Scegliendo l'opzione "condizioni non drenate" il software effettua anche la verifica a lungo termine in condizioni drenate in termini di pressioni efficaci. È bene precisare che nei terreni a grana fina quasi sempre le condizioni più gravose sono quelle drenate a lungo termine (con poche eccezioni relative a scavi in terreni argillosi di consistenza molto bassa). Risulta quindi evidente che la spinta esercitata sulle opere di sostegno in condizioni non drenate risulta quasi sempre di scarsa utilità pratica, poiché il dimensionamento dell'opera è regolato dalle spinte in condizioni drenate (ciò vale anche in condizioni sismiche, essendo la condizione di drenaggio impedita solo temporanea), per cui anche nel caso di terreni a grana fina può procedersi, in genere, scegliendo l'opzione "condizioni drenate".

Si fa rilevare che nel caso di terreno stratigrafico con contemporanea presenza di strati in condizioni non drenate (es. argille) e strati in condizione drenate (es. sabbie e ghiaie), volendo effettuare anche le verifiche a breve termine occorre scegliere l'opzione "Condizione NON DRENATE". Se invece non si è interessati alle condizioni a breve termine si può scegliere l'opzione "Condizioni DRENATE".

4.2.4 STRATIGRAFIA

Occorre precisare il numero di strati di terreni presenti: possono essere inseriti fino a un massimo di sei strati. Nel caso di terreno omogeneo occorre inserire il valore uno.

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 15 di 88
---	----------------------	---------------

4.2.5 ULTERIORI VERIFICHE DA ESEGUIRE

L'utente da questo pannello può decidere di escludere dal calcolo qualche verifica, in funzione di specifiche esigenze (ad esempio per ridurre il tempo di calcolo quando si è interessati a verificare la risposta della struttura a determinate verifiche al variare dei parametri di input).

5. TIPOLOGIA

Permette di precisare la tipologia e il materiale in cui viene realizzata la paratia e se questa è a sbalzo o ancorata. Per le paratie in c.a. si può scegliere la paratia di pali disposti lungo una fila con un fissato interasse, la paratia di due file di pali disposte allineate o a quinconce o il diaframma

di fissato spessore. Le paratie di pali o micropali distanziati tra loro sono utili per sostenere scavi in terreni asciutti sfruttando l'effetto arco che si verifica nel terreno e risparmiare sul numero di pali impiegati. Per non perdere l'effetto arco, l'interasse tra i pali, da inserire dal menù GEOMETRIA, non deve superare il doppio del diametro tra i pali.

Per la paratia in materiale generico non vengono effettuate le verifiche strutturali.

Nel caso di paratie ancorate possono inserirsi puntoni o tiranti. Per le paratie multi-ancorate occorre procedere mediante il calcolo FEM (Dati Generali).

Nel caso di tiranti occorre precisare se essi sono provvisori o permanenti, ai fini della corretta individuazione del coefficiente di sicurezza nella verifica geotecnica allo sfilamento. I tiranti sono del tipo realizzato in opera con struttura in acciaio e bulbo di fondazione in calcestruzzo o altro materiale similare (es. resina) iniettato a pressione più o meno elevata.

È possibile inserire i cordoli o travi di contrasto in corrispondenza dei tiranti/puntoni, che hanno la funzione di ripartire la forza dei tiranti/puntoni lungo tutto lo sviluppo longitudinale della paratia.

6. Menù GEOMETRIA

In questo menù viene inserita la geometria del problema (paratia, cordolo di testa, falda, stratigrafia, sezione in pianta, tiranti, puntoni, cordoli in corrispondenza degli

ancoraggi). Dal menù VISUALIZZA sarà possibile visionare i relativi disegni e rendersi conto se l'input inserito è corretto.

6.1 Paratia e falda

GEOMETRIA PARATIA E FALDA

paratia

altezza di scavo H (m)

altezza paratia oltre profilo di monte H1 (m)

altezza complessiva paratia L (m)

inclinazione piano campagna monte im (°)

inclinazione piano campagna valle iv (°)

☐ cordolo/trave di testa

falda

posizione pelo libero falda a monte zwm (m)

posizione pelo libero falda a valle zvv (m)

Annulla Salva e chiudi

Permette di inserire i dati geometrici riguardanti la paratia e la falda, se presente.

L'altezza complessiva L è disattivata nel calcolo di progetto con il LEM (è un output). Nel calcolo di verifica, l'altezza complessiva $L = H_1 + H + D$ può essere pre-determinata in base a criteri empirici rintracciabili nei manuali tecnici o in letteratura tecnica³ o in base alla propria esperienza, oppure si procede per tentativi.

Si precisa che le NTC (§ 6.5.2.2) prevedono un'altezza di scavo di progetto H_d maggiore, fino a 0,5 m, rispetto all'altezza di scavo H da sostenere, a seconda se la paratia è a sbalzo o vincolata:

- per paratie a sbalzo $H_d(m) = H + \min(0,5 \text{ m}; 0,1H)$
- per paratie vincolate $H_d(m) = H + \min(0,5 \text{ m}; 0,1T)$, dove T è l'altezza, rispetto al piano di scavo, del livello più basso di vincolo.

Nella casella dell'altezza di scavo H deve quindi essere inserito, se si procede con le NTC, il valore H_d calcolato come sopra (al fine di coprire le incertezze sull'altezza di scavo).

³ Valori approssimati della profondità di infissione D per le paratie a sbalzo in terreno granulare omogeneo:

N _{SPT}	Densità relativa	D
0-4	Molto sciolta	2 H
5-10	Sciolta	1,5 H
11-30	Mediamente densa	1,25 H
31-50	Densa	H
>50	Molto densa	0,75 H

L'angolo di inclinazione del piano di campagna di monte ha valore positivo se antiorario (aumento del volume di terra spingente), mentre l'angolo di inclinazione del piano di campagna di valle ha valore positivo se orario (aumento del volume di terra resistente) (in figura l'angolo i_v è quindi negativo).

Se è presente la trave di testa o di coronamento è necessario indicare la larghezza e l'altezza (cordolo disposto simmetricamente in orizzontale).

Il pelo libero della falda può essere a profondità differenti tra monte e valle; valori negativi della profondità z_w , ammessi solo se H_1 è maggiore di zero, indicano che il pelo libero della falda è situato sopra il livello del terreno di monte.

Ove le dimensioni geometriche impostate non diano luogo a verifiche tutte soddisfatte, l'utente le potrà modificare in uno ad altri parametri che incidono il calcolo.

6.2 Stratigrafia

GEOMETRIA STRATIGRAFIA

strato n. 1
strato n. 2
strato n. 3

z_1
 z_2

z_t (m)

strato n. 1
strato n. 2
strato n. 3
strato n. 4
strato n. 5

z_t = profondità del punto di intersezione del profilo di base dello strato con l'asse Y

Gli strati sono numerati dall'alto verso il basso. Per l'ultimo strato si considera il profilo di base a profondità indefinita

Annulla Salva e chiudi

Nel caso di terreno stratigrafico è necessario specificare la profondità z_t del punto di intersezione del profilo topografico di base del generico strato con l'asse Y. Gli strati sono numerati a partire da uno dall'alto verso il basso. Per l'ultimo strato si considera il profilo topografico di base a profondità infinita.

6.3 Sezione in pianta

Nel caso di **diaframma lineare in c.a.** è opportuno utilizzare per lo spessore e lo sviluppo dei singoli setti i seguenti valori:

$$0,5 \text{ m} \leq S_s \leq 1,2 \text{ m}$$

$$2,0 \text{ m} \leq L_s \leq 6,0 \text{ m}$$

Per le **paratie di pali in c.a. o di micropali** occorre inserire i relativi dati: diametro pali/micropali, interasse longitudinale tra i pali, interasse trasversale tra le file di pali

GEOMETRIA PARATIA IN C.A. E MICROPALI

pali e micropali

diametro pali/micropali D (m)

interasse longitudinale tra i pali (m)

interasse trasversale tra le file di pali (m)

numero di pali (fila con numero maggiore)

sporgenza trave colleg. rispetto ai pali (m)

lunghezza paratia lungo l'asse Z (m)

armatura metallica micropalo >>

diaframmi

spessore setto Ss (m)

sviluppo singolo setto Ls (lungo l'asse Z) (m)

lunghezza diaframma lungo l'asse Z (m)

(nel caso di numero file di pali maggiore di 1), numero di pali nella fila (nel caso di pali su due file a quinconce occorre inserire il numero di pali della fila più

numerosa), la sporgenza della trave di coronamento rispetto ai pali.

La lunghezza longitudinale della paratia viene calcolata automaticamente in funzione dei parametri inseriti.

Nel caso di paratie di micropali occorre inserire i dati dell'armatura metallica premendo sul relativo bottone. >>

ARMATURA METALLICA MICROPALI

forma sezione

Profilato

base b (cm)

altezza h o diametro esterno De (cm)

spessore anima o tubo t/tw (cm)

spessore ali laterali s/tf (cm)

raggio r raccordo anima-ali (cm)

dati della sezione metallica micropalo

Area lorda sezione A (cmq)

Momento di inerzia elastico Iy (cm4)

Modulo di resistenza elastico Wy (cm3)

Modulo di resistenza plastico Wpl_y (cm3)

Classe della sezione

L'utente specifica la forma ("Tubolare a sez. circolare", "a doppio T", "IPE", "HEA", "HEB", "HEM") e inserisce le dimensioni della sezione, mentre i dati della sezione possono essere calcolati in automatico premendo su **Calcola**. Il bottone "C" consente di calcolare la classe della sezione di acciaio (allo scopo occorre inserire in MATERIALI la resistenza caratteristica di snervamento f_{yk} dell'acciaio).

Per le **paratie in acciaio** è possibile inserire palancole di tipo **Larssen, Arcelor, IPE, HEA, HEB, HEM, a doppio T, a T, a T rovescia, Tubolare a sez. circolare, Tubolare a sez. rettangolare, costruita per punti o generica.**

I profili delle palancole Larssen e Arcelor (AZ) sono indicati nella figura sotto. Il software fornisce i dati di tanti profili precaricati; scegliendo il profilato si caricano in automatico, dagli archivi presenti nel software, i dati geometrici e statici necessari per le verifiche strutturali della paratia, espressi per metro lineare di paratia lungo l'asse locale y (coincidente con l'asse globale Z). Resta comunque salva la possibilità

DATI GEOMETRICI E STATICI SEZIONE IN ACCIAIO PARATIA

Tipologia palancola: **Larssen**
 Profilato: **L600**

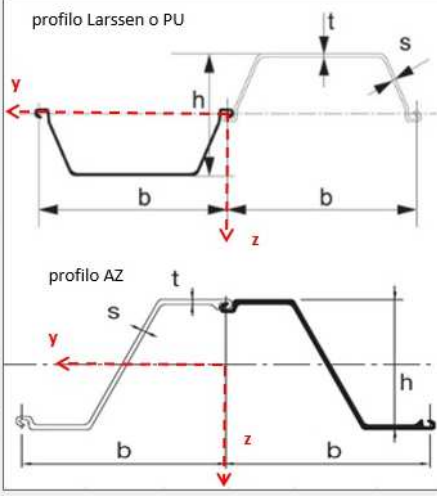
base b (cm): 60
 altezza h o diametro esterno De (cm): 15
 spessore parete t o anima o tubo tw (cm): 0,95
 spessore s ali laterali tf (cm): 0,95
 raggio r raccordo anima-ali (cm):
 lunghezza paratia lungo y (m): 18
 interasse/passo elementi lungo y (m): 0,4
 n° poligonali che definiscono la sezione: 1
 Classe della sezione: 1

coordinate vertici sezione **calcola parametri**

dati della sezione per metro lineare di paratia

area lorda sezione A (cmq): 120
 area sezione efficace Aeff (cmq):
 Momento di inerzia elastico Iy (cm4): 3840
 Modulo di resistenza elastico Wy (cm3): 510
 Modulo di resistenza plastico Wpl_y (cm3): 558
 Modulo di resistenza efficace Weff_y (cm3):

Annulla **Salva e chiudi**



per l'utente di modificare i dati essendo i campi accessibili.

Anche per i profili IPE, HEA, HEM e HEB, che si considerano disposti secondo la massima inerzia, sono presenti archivi di profilati. In questo caso i

dati geometrici e statici si riferiscono al singolo elemento e pertanto occorre inserire l'interasse o passo lungo l'asse locale y tra i vari profilati.

Per le sezioni "a doppio T", "a T", "a T rovescia", "Tubolare a sez. circolare", "Tubolare a sez. rettangolare", l'utente inserisce le dimensioni, mentre i dati della sezione possono essere calcolati in automatico premendo su **Calcola parametri**.

Per la sezione "costruita per punti" occorre inserire le coordinate y'z' dei vertici della

DEFINIZIONE SEZIONE GENERICA IN ACCIAIO

coordinate vertici sezione (poligonale)

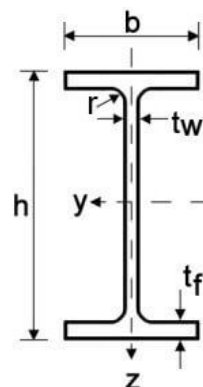
poligonale: 1

vert. y' (cm) z' (cm)

Aggiungi >>
Modifica
Elimina

Salva dati **Chiudi**

Inserire i vertici della sezione in senso orario. Per le poligonali che racchiudono cavità l'ordine dei vertici è antiorario.



sezione rispetto ad un sistema di riferimento y'z' assunto dall'utente, precisando prima il numero delle poligonali che

compongono la sezione e l'interasse tra i vari elementi.

Per la sezione "generica" occorre inserire l'area A della sezione, il momento di inerzia Iy e il modulo di resistenza Wy, riferiti al metro lineare di paratia lungo y=Z.

DATI PARATIA IN PIANTA (materiale generico) ✕

A e Iy per metro lineare di paratia

area A (mq)

momento di inerzia Iy (m4)

spessore paratia Sp (m)

lunghezza paratia lungo y (m)

Annulla **Salva e chiudi**

Per le paratie in **materiale generico**, i parametri geometrici da inserire sono semplicemente l'area e il momento di inerzia riferiti al metro lineare di paratia, lo spessore e la lunghezza della paratia lungo y (coincidente con l'asse globale Z).

6.4 Tiranti

GEOMETRIA TIRANTI DI ANCORAGGIO ✕

	1° ordine	2° ordine	3° ordine	4° ordine	5° ordine
posizione punto di ancoraggio Ya (m)	0,5				
angolo di inclin. alfa rispetto all'orizz. (°)	20				
lunghezza libera tirante (m)	6				
lunghezza bulbo fondazione (m)	5				
diametro perforazione (m)	0,2				
diametro equivalente armatura (mm)	15				
area sezione trasversale acciaio (cmq)	3				
interasse fra gli ancoraggi ia (m)	2,5				

Annulla **Salva e chiudi**

L'angolo di inclinazione α del tirante rispetto all'orizzontale è positivo se, come in figura, l'orizzontale deve ruotare in senso orario per sovrapporsi alla direzione del tirante. L'interasse i_a tra gli ancoraggi è quello lungo la direzione Z.

In terreni sciolti in genere la lunghezza del bulbo di fondazione è determinata dalla verifica allo sfilamento bulbo-

terreno circostante mentre nei tiranti ancorati in roccia (in cui si esplica una forte aderenza bulbo-roccia), la lunghezza della fondazione è determinata dalla verifica di aderenza malta-armatura.

Il diametro equivalente dell'armatura, nota la sezione dell'acciaio (es. se l'armatura è costituita da n_{tr} trefoli di acciaio, ognuno di area A_{1tr} , la sezione di acciaio è $A = n_{tr} \cdot A_{1tr}$), si calcola con l'espressione:

$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

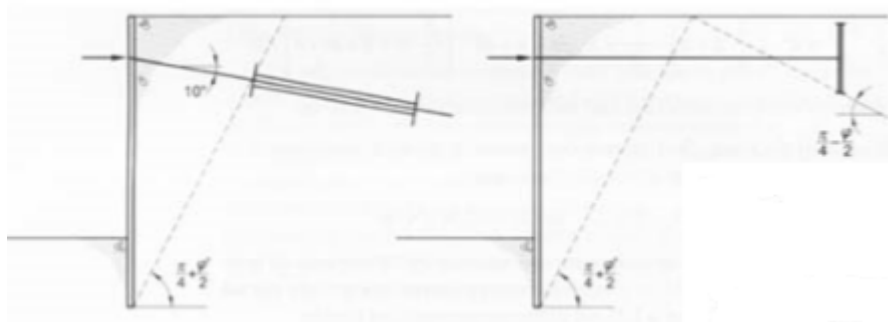
Qualora l'armatura del tirante sia una barra a sezione piena (es. barra Dywidag) il diametro equivalente è quello della barra.

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 21 di 88
---	----------------------	---------------

Prestare attenzione alle unità di misura (il diametro equivalente deve essere inserito in mm, l'area della sezione acciaio in cm²).

L'ancoraggio del tirante deve essere sufficientemente lontano affinché il prisma di spinta attiva non interferisca con quello di resistenza passiva dovuto all'ancoraggio.

Con riferimento ai tiranti con bulbo di fondazione, la lunghezza libera del tirante deve



essere non inferiore al valore L_{min} fornito dalla seguente formula ricavabile con considerazio

ni geometriche (la fondazione del tirante deve cadere a destra del cuneo di spinta attivo inclinato di $45^\circ + \varphi/2$ sull'orizzontale):

$$L_{min} = \frac{\sin\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \cdot (L - Y_a)}{\cos\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} - \alpha\right)}$$

dove L è l'altezza complessiva della paratia, Y_a è la posizione del punto di ancoraggio, φ è l'angolo di resistenza al taglio del terreno e α è l'angolo di inclinazione del tirante sull'orizzontale. Qualora si voglia distanziare di un'ulteriore quantità L_1 misurata in orizzontale (ad esempio alcuni autori consigliano di adottare $L_1=0,2H$, con H altezza di scavo), la formula precedente diventa:

$$L_{min} = \frac{\sin\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \cdot (L - Y_a) + L_1 \cdot \cos\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{\cos\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} - \alpha\right)}$$

Ad esempio, con $L=8$ m, $L_1=0,8$ m, $\varphi=30^\circ$, $Y_a=0,5$ m e $\alpha=15^\circ$ si ottiene $L_{min}=3,88$ m con la prima formula e $L_{min}=4,60$ m con la seconda.

In condizioni sismiche la lunghezza minima deve essere ulteriormente aumentata secondo la relazione fornita dalle NTC:

$$L_{min,e} = L_{min,s} \cdot \left(1 + 1,5 \cdot \frac{a_{max}}{g}\right) \quad \text{dove } a_{max} \text{ è l'accelerazione orizzontale massima}$$

attesa al sito e $L_{min,s}$ è la lunghezza libera dell'ancoraggio in condizioni statiche determinata come sopra (ad esempio per $a_{max}=1,6$ m/s² si ottiene $L_{min,e}=1,24 L_{min,s}$).

6.5 Puntoni

GEOMETRIA PUNTONI

	1° ordine	2° ordine	3° ordine	4° ordine	5° ordine
posizione punto di contrasto Y_p (m)	0,5				
angolo di inclin. alfa rispetto all'orizz. ($^\circ$)	-20				
lunghezza puntone L (m)	2,5				
area sezione trasversale puntone (cmq)	53,83				
interasse fra i puntoni i_p (m)	3				

L'angolo di inclinazione α del puntone rispetto all'orizzontale è positivo se, come per i tiranti, l'orizzontale deve ruotare in senso orario per sovrapporsi alla direzione del tirante (in figura α_1 e α_2 sono pertanto negativi). L'interasse i_p tra i puntoni è quello lungo la direzione Z.

6.6 Cordoli tiranti/puntoni

Quando si prevedono in progetto le travi di contrasto in corrispondenza dei tiranti/puntoni, occorre indicarne le dimensioni lungo X (base b) e lungo Y (altezza h),

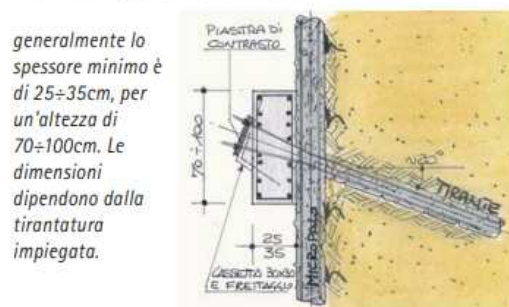
GEOMETRIA CORDOLI TIRANTI (TRAVI DI CONTRASTO)

	1° ordine	2° ordine	3° ordine	4° ordine	5° ordine
base orizz.le b (m)	0,4				
altezza vertic. h (m)	0,3				
forma sezione	HEB				
Profilato	HEB 180				
n° elementi	2				

per i cordoli in c.a., la forma della sezione, il profilato e il numero di elementi, per i cordoli in acciaio (1 o 2).

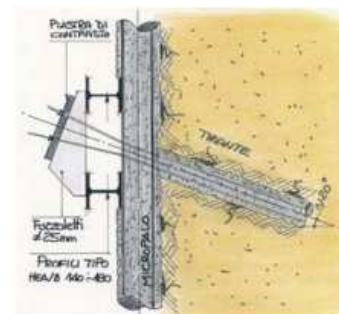
Nel caso in cui il primo ordine dei tiranti/puntoni è ancorato nella trave di testa in c.a. sono disattivati i campi b e h.

Travi di ripartizione in c.a.:



Trave di ripartizione con profili HE:

le armature dei micropali devono essere adeguatamente spessorate contro le travi di ripartizione. L'inclinazione dei tiranti non deve superare i 20°.



7. Menù MATERIALI

7.1 Terreni

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Parametri geotecnici terreni (valori caratteristici)

Descrizione strato	g	g_sat	f	c'	cu	delta_a	delta_p	OCR	BT
	15		35	0		0	0	1	Drenate

Descrizione strato:
 Peso dell'unità di volume g (kN/mc):
 Peso dell'unità di volume saturo gsat (kN/mc):
 Angolo di resistenza al taglio drenato f' (°):
 Coesione drenata c' (kN/mq):
 Coesione non drenata cu (kN/mq):
 Ang. attrito paratia-terreno lato attivo d_a (°):
 Ang. attrito paratia-terr. lato passivo d_p (°):
 Grado di sovraconsolidazione OCR:
 Condizione a breve termine:

Il pannello permette di inserire, per tutti gli strati, i dati di caratterizzazione geotecnica (pesi dell'unità di volume, angoli di resistenza al taglio, coesione drenata e non drenata, angolo di attrito paratia-terrapieno lato spinta attiva e lato spinta passiva, grado di sovra-consolidazione) dei terreni interessati dall'opera di sostegno.

Come noto il parametro OCR per i terreni normal consolidati vale 1, mentre nei terreni sovra-consolidati assume valore maggiore di 1. Esso serve a calcolare il *coefficiente di spinta a riposo* K_0 (compreso tra 0,4 e 2,5) con la seguente formula di Jaky

$$K_0 = \sqrt{OCR} \cdot (1 - \sin \varphi') \cdot (1 + \sin i)$$

dove "i" è la pendenza del terrapieno di monte o di valle.

Si ricorda che la coesione drenata c' del terreno riduce le spinte attive ed aumenta quelle passive che agiscono sulla paratia; è quindi consigliabile, con ciò andando a favore di sicurezza, assumere pari a zero la coesione dei terreni. Di contro, quando i terreni hanno una coesione drenata non nulla, assumerla pari a zero può essere molto cautelativo ai fini del dimensionamento e delle verifiche di stabilità della paratia.

Le pressioni orizzontali che il terreno esercita sulla paratia (e quindi le spinte) possono essere determinate con i coefficienti di spinta di Coulomb (generalizzati da Mayniel, Muller-Breslau) o con quelli di Lancellotta (pannello IMPOSTAZIONI).

I valori di spinta ottenuti con angoli di attrito paratia-terreno non nulli risultano in genere da preferire, poiché una paratia risulta solitamente piuttosto flessibile cosicché si manifestano spesso spostamenti relativamente elevati tali da generare una resistenza per attrito. È bene però sottolineare che se si opera con il metodo di Coulomb occorre inserire valori cautelativi di tali angoli di attrito, in quanto in presenza di angoli di attrito superiori a $\frac{1}{2}$ dell'angolo di resistenza al taglio si producono con tale metodo forti riduzioni delle spinte attive e forti aumenti delle

resistenze passive (stime non cautelative dei coefficienti di spinta); in presenza di angoli di attrito superiori al 50% dell'angolo di resistenza al taglio è preferibile ricorrere, pertanto, alla formulazione di Lancellotta che fornisce valori più cautelativi delle riduzioni delle spinte attive e degli aumenti delle resistenze passive.

Il campo "Condizione a breve termine", attivo solo se in Dati Generali si è scelto "Condizioni non drenate", permette di specificare se lo strato di terreno in oggetto a breve termine è in condizioni drenate (terreno a grana grossa) o in condizioni non drenate (terreno a grana fina). Ciò consente di modellare situazioni di coesistenza di terreni in condizioni non drenate e in condizioni drenate (ad. esempio terreno a grana grossa che poggia su terreno argilloso saturo).

7.2 Contatto terreni-paratia

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AL CONTATTO PARATIA-TERRENO

	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5	strato 6
Adesione (kN/mq)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
coefficiente mu di attrito fra paratia e terreno	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
coefficiente empirico k	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Annulla
Salva e chiudi

Questi parametri vanno inseriti quando si vuole effettuare la

verifica a carico limite per le azioni verticali, che viene condotta in analogia alle fondazione profonde (pali di fondazione). Il software consiglia (bottoni *valori consigliati*) alcuni valori in base al tipo di paratia e allo stato di addensamento del terreno, come suggerito in letteratura tecnica. In condizioni drenate l'adesione (input) può essere nulla o positiva.

Tipo di palo	Valori di c_u (kPa)	Valori di α
Battuto	$c_u \leq 25$	1,0
	$25 < c_u < 70$	$1 - 0,011(c_u - 25)$
	$c_u \geq 70$	0,5
Trivellato	$c_u \leq 25$	0,7
	$25 < c_u < 70$	$0,7 - 0,008(c_u - 25)$
	$c_u \geq 70$	0,35

In condizioni non drenate l'adesione palo-terreno viene calcolata dal software in funzione del valore della coesione non drenata mediante la formula $Ades = \alpha(c_u) * c_u$, dove il parametro α è calcolato come

da tabella accanto (palo trivellato).

7.3 Terreni (tiranti)

Il pannello, attivo in presenza di tiranti, permette di inserire i dati per la determinazione della resistenza caratteristica allo sfilamento degli ancoraggi.

Come da normativa vigente sono possibili due metodologie. La prima, preferibile, è quella di effettuare prove di progetto su ancoraggi di prova, misurando direttamente in sito tali resistenze. La seconda metodologia è quella di applicare metodi di calcolo analitici, come ad esempio quello di *Bustamante e Doix (1985)*, implementato nel software.

Sia per il primo che per il secondo metodo occorre inserire i dati per ogni **profilo di indagine**. Infatti, con le NTC sono previsti dei coefficienti di correlazione che

PARAMETRI E RESISTENZE DEI TERRENI PER VERIFICHE TIRANTI

Valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio R_{ak}

☐ con risultati di prove di progetto su ancoraggi di prova

Resistenza allo sfilamento misurata $R_{a,mis}$ (kN)

$R_{a,mis}$

Coefficienti di correlazione ☒ XI1 XI2

☒ con metodi di calcolo analitici

parametro alfa di espansione del diametro del foro di perforazione a seguito dell'iniezione

Resistenza unitaria q_s (tensione tangenziale) ad attrito laterale all'interfaccia bulbo-terreno (kN/mq)

q_s

Coefficienti di correlazione ☒ XI3 XI4

N.B. Inserire i dati per tutti i profili di indagine disponibili

premiano la numerosità dei profili di indagine effettuati, penalizzando il calcolo quando si hanno dati relativi ad un solo profilo di indagine. Una volta inseriti i valori di $R_{a,mis}$ o q_s per ogni profilo di indagine a disposizione, detti coefficienti (che riducono la resistenza di progetto allo sfilamento essendo posti a

denominatore delle resistenze caratteristiche) possono essere calcolati premendo sui bottoni ☒, fatto salvo l'inserimento manuale da parte dell'utente.

I parametri α (compreso tra 1,1 e 2,0) e q_s (tensioni tangenziali) possono essere ricavati dalle seguenti tabelle e grafici ($1 \text{ kN/m}^2 = 1 \text{ kPa}$, $1 \text{ MPa} = 1000 \text{ kPa}$) forniti da *Bustamante e Doix*, in funzione della resistenza del terreno espressa dal valore della pressione limite della prova pressiométrica o dalla resistenza alla penetrazione ricavata con prove SPT:

Terreno	Valori del coefficiente α_d		Quantità minima di miscela consigliata V_s	Rapporto A/C
	IRS ($p_1 \geq p_1$)	IGU ($p_1 < p_1$)		
Ghiaia	1,8	1,3 ÷ 1,4	1,5 V_s	1,7 ÷ 2,4
Ghiaia sabbiosa	1,6 ÷ 1,8	1,2 ÷ 1,4	1,5 V_s	
Sabbia ghiaiosa	1,5 ÷ 1,6	1,2 ÷ 1,3	1,5 V_s	
Sabbia grossa	1,4 ÷ 1,5	1,1 ÷ 1,2	1,5 V_s	
Sabbia media	1,4 ÷ 1,5	1,1 ÷ 1,2	1,5 V_s	
Sabbia fine	1,4 ÷ 1,5	1,1 ÷ 1,2	1,5 V_s	
Sabbia limosa	1,4 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,0	IRS: (1,5 ÷ 2) V_s ; IGU: 1,5 V_s	
Limo	1,4 ÷ 1,6	1,1 ÷ 1,2	IRS: 2 V_s ; IGU: 1,5 V_s	1,7 ÷ 2,4
Argilla	1,8 ÷ 2,0	1,2	IRS: (2,5 ÷ 3) V_s ; IGU: (1,5 ÷ 2) V_s	
Marna	1,8	1,1 ÷ 1,2	(1,5 ÷ 2) V_s per strati compatti	1,7 ÷ 2,4
Calcarei marnosi	1,8	1,1 ÷ 1,2	(2 ÷ 6) V_s o più per strati fratturati	
Calcarei alterati o fratturati	1,8	1,1 ÷ 1,2		
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1	(2÷6) V_s o più per strati poco fratturati 2 V_s o più per strati fratturati	1,7 ÷ 2,4
IRS: iniezione ad alta pressione a più stadi e ripetuta IGU: iniezione a bassa pressione in unica soluzione p_1 : pressione limite dalla prova pressiométrica Menard p_1 : pressione di iniezione			$V_s = L_f D_s^2 / 4$ L_f : lunghezza della fondazione D_s : diametro reale della fondazione	
Nota: nella tabella sono riportati i valori teorici della quantità in volume della miscela di iniezione nelle diverse condizioni operative ed il rapporto acqua cemento ottimale (da Bustamante e Dolz, 1985)				

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

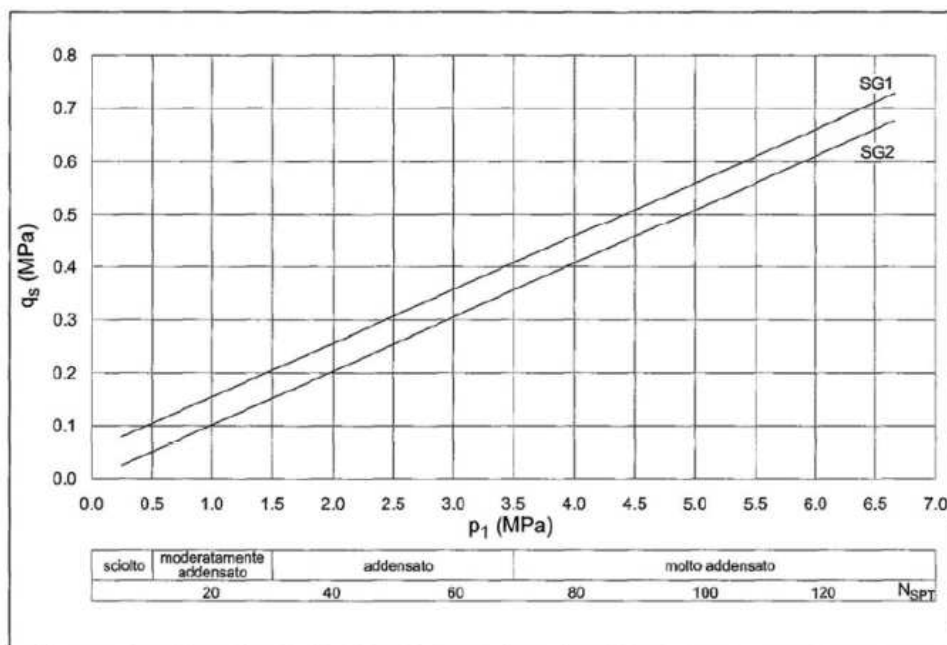


Figura 3-3: Resistenza unitaria limite per terreni incoerenti (AGI, AICAP, Ancoraggio nei Terreni e nelle Rocce, 2012).

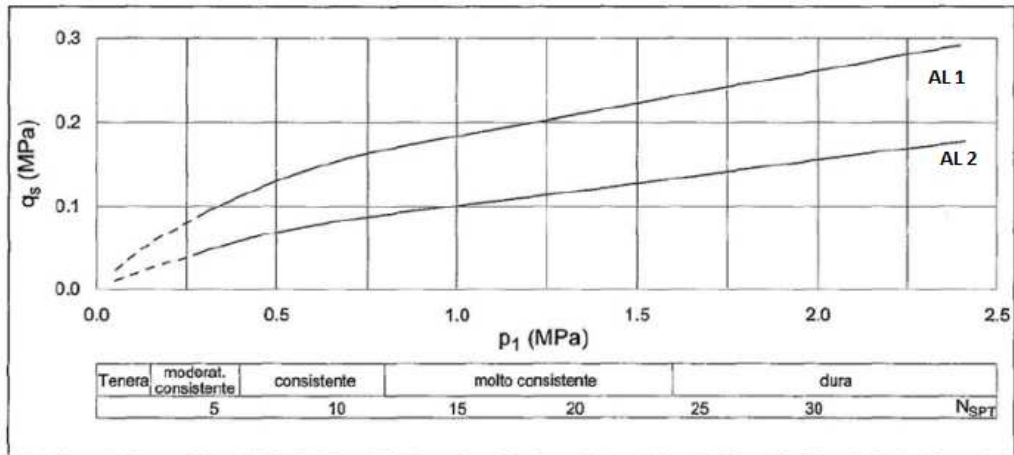
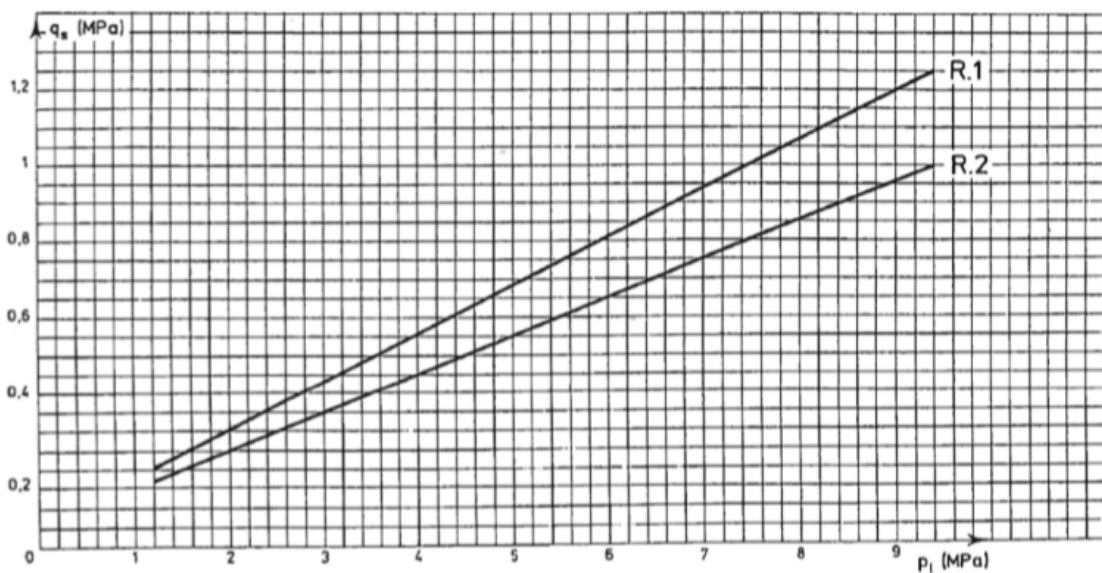
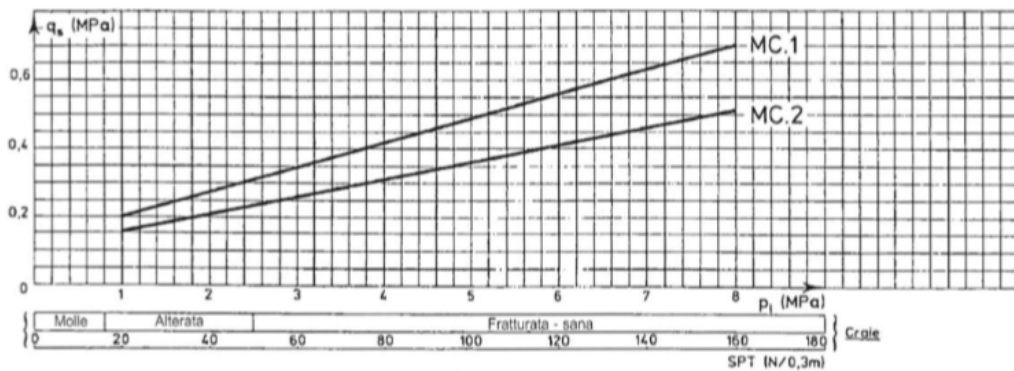


Figura 3-4: Resistenza unitaria limite per terreni a grana fine (AGI, AICAP, Ancoraggio nei Terreni e nelle Rocce, 2012).



7.4 Coefficienti di Winkler

COEFFICIENTI DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO O DI WINKLER

formula binomia $K_s = A_s + B_s \cdot z^n$ z = sistema di riferimento locale terreni

	A_s (N/cmc)	B_s (N/cmc)	n
Strato 1	4,97304	12,14474	1
Strato 2	4,97304	12,14474	1
Strato 3	0,13232	1,68058	1
Strato 4			
Strato 5			
Strato 6			

Calcolo con formula di Bowles (1982)

Annulla

Salva e chiudi

Quando si usa il FEM con mesh automatica occorre inserire i parametri per il calcolo del modulo di reazione orizzontale k_s del terreno o coefficiente di Winkler. Tale modulo viene calcolato dal software, per ogni strato, mediante la seguente formula binomia:

$$k_s = A_s + B_s \cdot z^n$$

dove:

A_s = costante (con la profondità)

B_s = coefficiente che tiene conto della variazione di profondità

z = profondità (sistema di riferimento locale per i terreni)

n = valore dell'esponente variabile generalmente tra 0,5 e 1⁴

Ponendo, per esempio, $B_s=0$ si assume il modulo di reazione costante con la profondità. Ponendo $n=1$ si ammette invece la variazione lineare di k_s con la profondità. In genere in terreni incoerenti si assume un andamento crescente con la profondità mentre nei terreni coesivi si assume k_s costante.

Se si conosce il valore di k_s sulla base di formule di correlazione con i moduli elastici del terreno, possono stabilirsi i tre parametri richiesti (A_s , B_s e n) sulla base della formula di interpolazione che si vuole considerare. Se adempio la formula è del tipo

$k_s = a \cdot \frac{E}{L}$, dove a è un coefficiente adimensionale, E un modulo elastico del terreno

e L una dimensione caratteristica della paratia, si deve inserire nel pannello $A_s = a \cdot \frac{E}{L}$ e $B_s=0$ se E non varia con la profondità, altrimenti si considera la

legge di variazione di E con la profondità nel termine $B_s z^n$.

Il bottone "Calcolo con formula di Bowles (1982)" consente di calcolare i parametri della formula binomia mediante il metodo suggerito di Bowles (1982) basato sulla capacità portante dei terreni. Il metodo si basa sull'ipotesi che la portanza ultima del terreno si verifichi in corrispondenza di uno spostamento di un pollice (2,54 cm) e quindi

$$k_s = \frac{q_{ult}}{1''} = \frac{q_{ult}}{0,0254m} \cong 40 \cdot q_{ult}$$

⁴ È da preferire il valore 0,5 in quanto è risaputo che il valore di k_s è in qualche modo correlato al modulo elastico E dei terreni, che a sua volta, in accordo con Lambe e Withmann (1979), cresce secondo una legge legata alla profondità z in cui compare l'esponente 0,5.

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 29 di 88
---	----------------------	---------------

Il modulo di reazione può quindi essere ottenuto moltiplicando la portanza ultima del del generico strato per 40:

$$k_s = 40 \cdot (0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + c \cdot N_c + q \cdot N_q)$$

Considerando i parametri geotecnici (c , φ , γ) di ogni strato, $B=1$ m e $q=\sigma_v=\gamma z$, si ottiene una espressione del tipo $k_s = A_s + B_s \cdot z$ per cui si ricavano i coefficienti A_s , B_s e $n=1$. Infatti risulta:

$$k_s = 40 \cdot (0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + c \cdot N_c) + 40 \cdot \gamma \cdot N_q \cdot z^1$$

In *Paratie.Az* si adottano le seguenti espressioni per il calcolo dei fattori del carico limite:

$$N_q = k_p \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} \quad (\text{Prandtl 1921}) \quad N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \varphi} \quad (\text{Prandtl 1921}) \quad N_\gamma = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi$$

(Hansen 1970)

$$k_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

con coefficiente di spinta passiva.

Per $\varphi=0$ (condizioni non drenate) si assume $N_c = 2 + \pi = 5,14$, mentre dalle formule appena viste si ottiene $N_q = 1$ e $N_\gamma = 0$.

È opportuno sottolineare che le caratteristiche di sollecitazione e le pressioni indotte nel terreno non sono molto sensibili al valore del coefficiente di sottofondo perché la rigidità della struttura è solitamente almeno 10 o più volte la rigidità del terreno. Al contrario, gli spostamenti risultano abbastanza influenzati da k_s . Infatti l'andamento degli spostamenti varia pressoché linearmente con k_s , cosicché una corretta scelta di esso è determinante per una valutazione realistica degli spostamenti.

A rigore la costante di sottofondo k_s non dipende solo dal terreno ma anche dalle condizioni geometriche e meccaniche del problema, quali l'affondamento e la rigidità della paratia, il suo grado di vincolo, il suo modo di deformarsi ecc. (problema di interazione). Come detto in precedenza, altre formule proposte in

letteratura legano la costante di sottofondo al modulo elastico del terreno $k_s \propto \frac{E}{L}$ in

cui L è un parametro geometrico caratteristico della paratia che rappresenta l'ampiezza della zona di terreno "caricata" dalla paratia.

In virtù di quanto detto si può effettuare l'analisi con differenti valori di k_s ai fine di valutarne l'influenza sui risultati finali e operare le conseguenti scelte progettuali.

7.5 Paratia

Per le **paratie in c.a.** è necessario specificare la resistenza caratteristica del

DATI MATERIALI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI PARATIE IN C.A. (compreso cordolo)

resistenza caratt. cubica del cls R_{ck} (N/mm²) e classe di resistenza
 25 **C20/25**

B450C tipo di acciaio

calcola parametri **cancella dati**

30200 modulo elastico longit. cls E_c (N/mm²)
 210000 modulo elastico longit. acciaio E_s (N/mm²)
 24 peso specifico del cemento armato (kN/mc)

VERIFICHE SEZIONI ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

tens. ammiss. di compressione nel cls (N/mm²)
 tens. tang. ammiss. nel cls σ_{ct0} (N/mm²)
 tens. tang. ammiss. nel cls σ_{ct1} (N/mm²)
 tens. ammiss. acciaio (N/mm²)

VERIFICHE SEZIONI AGLI S.L.U.

Diagramma di progetto tensione deformazione del calcestruzzo

☒ parabola-rettangolo (preferibile)
☐ triangolo-rettangolo
☐ rettangolo o stress block

0,2 deformazione ϵ_{c2} (%) 0,07 deformazione ϵ_{c4} (%)
 0,175 deformazione ϵ_{c3} (%) 0,35 deformazione di rottura (%)

1,5 coeff. parziale di sicurezza calcestruzzo
 28,75 resist. media a compress. cilindrica f_{cm} (N/mm²)
 20,75 resist. caratt. a compress. cilindrica f_{ck} (N/mm²)
 11,76 resist. di progetto a compressione f_{cd} (N/mm²)
 2,27 resist. media a trazione f_{ctm} (N/mm²)
 1,59 resist. caratteristica a trazione f_{ctk} (N/mm²)
 1,06 resist. di progetto a trazione f_{ctd} (N/mm²)

Diagramma di progetto tensione-deformazione dell'acciaio

☒ elastico-perfettamente plastico 1 deformazione a rottura (%)
☐ bilineare con incrudimento 1,2 rapporto di sovrarresistenza k (>1)

1,15 coeff. parziale di sicurezza acciaio
 450 tensione caratt. di snervam. acciaio f_{yk} (N/mm²)
 391,3 resistenza di progetto acciaio f_{yd} (N/mm²)

Annula **Salva e chiudi**

calcestruzzo R_{ck} e il tipo di acciaio⁵, nonché i coefficienti parziali di sicurezza del calcestruzzo e dell'acciaio.

Il bottone “*Imposta parametri*” consente di impostare il peso specifico del cemento armato, i coefficienti parziali di sicurezza del cls e dell'acciaio e altri parametri in base alle indicazioni della normativa vigente. Il bottone “*Calcola parametri*” calcola i restanti parametri relativi al cls e all'acciaio in funzione della classe del calcestruzzo (R_{ck}), del tipo di acciaio e della normativa di riferimento prescelti. Resta comunque salva la possibilità per l'utente di modificare i dati calcolati in automatico.

Analogamente si procede per le **palancole in acciaio** (tipo di acciaio: **S 235, S 275, S 355, S 420, S 460, generico**).

DATI MATERIALI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI PARATIE IN ACCIAIO

S 420 tipo di acciaio

valori normativa

210000 modulo elastico longitudinale E (N/mm²)
 0,3 coefficiente di Poisson
 78,5 peso specifico dell'acciaio (kN/mc)

calcola parametri **cancella dati**

80769 modulo elastico tangenziale G (N/mm²)
 420 tensione caratteristica di snervamento f_{yk} (N/mm²)
 520 tensione caratteristica di rottura f_{tk} (N/mm²)

Verifiche sezioni alle Tensioni Ammissibili

tensione ammissibile (N/mm²)

Verifiche sezioni agli S.L.U. - coeff. parziali di sicurezza sul materiale

1,05 Resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4
 1,05 Resistenza all'instabilità delle membrature
 1,25 Resistenza delle sezioni tese indebolite da fori

Annula **Salva e chiudi**

⁵ Tipi di acciaio previsti per il calcolo in base al DM1988+DM1996: **Fe B 22 k, Fe B 32 k, Fe B 38 k, Fe B 44 k**. Tipo di acciaio previsto per il calcolo in base alle NTC: **B450C**.

Per le paratie in materiale generico occorre semplicemente inserire il peso specifico e il modulo elastico longitudinale del materiale.

7.6 Cordolo/trave di testa

Per il cordolo o trave di testa in c.a. è necessario specificare la resistenza caratteristica del calcestruzzo R_{ck} e il tipo di acciaio, nonché i coefficienti parziali di sicurezza del calcestruzzo e dell'acciaio, come visto in precedenza per la paratia.

7.7 Cordoli tiranti/puntoni

Per i cordoli in c.a. o in acciaio in corrispondenza dei tiranti/puntoni è necessario specificare le caratteristiche dei materiali, come visto in precedenza per la paratia.

7.8 Tiranti

Permette di impostare i dati del materiale costituente i tiranti per le verifiche strutturali.

È necessario specificare: 1) con la normativa alle tensioni ammissibili, la resistenza caratteristica del calcestruzzo R_{ck} e la tensione ammissibile dell'acciaio; 2) con la normativa agli stati limite, i coefficienti parziali di sicurezza del calcestruzzo e dell'acciaio e la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio che costituisce il

MATERIALI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI TIRANTI

resistenza caratt. cubica del cls R_{ck} (N/mm²) e classe di resistenza
 C20/25

modulo elastico longitudinale E (kg/cm²)

VERIFICHE SEZIONI ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

tens. tang. ammiss. nel cls σ_{cl} (N/mm²)

tens. tang. ammiss. di aderenza cls-acciaio τ_b (N/mm²)

tens. ammiss. acciaio (N/mm²)

VERIFICHE SEZIONI AGLI S.L.U.

1,5	coeff. parziale di sicurezza calcestruzzo (1,5)
28,75	resist. media a compress. cilindrica f_{cm} (N/mm ²)
20,75	resist. caratt. a compress. cilindrica f_{ck} (N/mm ²)
11,76	resist. di progetto a compressione f_{cd} (N/mm ²)
2,27	resist. media a trazione f_{ctm} (N/mm ²)
1,59	resist. caratteristica a trazione f_{ctk} (N/mm ²)
1,06	resist. di progetto a trazione f_{ctd} (N/mm ²)
1,15	coeff. parziale di sicurezza acciaio (1,15)
4400	tensione caratt. di snervam. acciaio f_{yk} (N/mm ²)
3826,09	resistenza di progetto acciaio f_{yd} (N/mm ²)

tirante f_{yk} (nel caso di trefoli di acciaio da precompress o si tratta della tensione caratteristica di snervamento f_{pyk} pari in genere a 1670 N/mm²).

Il bottone

“Calcola parametri” consente di determinare i parametri relativi al cls e all'acciaio in funzione della classe del calcestruzzo (R_{ck}) e della normativa di riferimento prescelti. Resta comunque salva la possibilità per l'utente di modificare i dati calcolati in automatico.

7.9 Puntoni

Nel caso di presenza di puntoni occorre inserire il modulo elastico longitudinale E del materiale con il quale è realizzato il puntone.

8. NODI E VINCOLI

Nel caso di calcolo agli elementi finiti con mesh manuale occorre inserire le coordinate assolute di tutti i nodi⁶, spuntare in “tipo nodo” se ricorre una o più delle condizioni ivi indicate e, per i nodi in cui sono presenti i vincoli esterni (tiranti/puntoni e nodi a contatto con il terreno sotto la linea di fondo scavo, nel caso di analisi lineare; tiranti/puntoni e nodi a contatto con il terreno di monte o di valle, nel caso di analisi non lineare), inserire le caratteristiche del vincolo (fisso, a cui consegue uno spostamento nullo; cedimento vincolare con spostamento assegnato o, più frequentemente, vincolo cedevole elasticamente con data rigidezza). Si rinvia all'esempio 9 in allegato per maggiori dettagli.

Come già riferito in precedenza, il presente pannello può essere attivato anche dopo

avere costruito la mesh automatica: basta che, una volta eseguito il calcolo, in Dati Generali si spunti la voce “mesh manuale”. Sarà quindi possibile apportare eventuali modifiche alla mesh costruita in automatico dal software, quale ad esempio la modifica di rigidezze dei vincoli o per inserire vincoli fissi o spostamenti impressi. Ad esempio, se vuole risolversi il caso della paratia “**Fixed earth support**” in cui l'estremo inferiore della paratia si considera fisso (incastro), basta impedire i tre movimenti dell'ultimo nodo.

⁶ Nel costruire la mesh manuale si precisa che occorre inserire un nodo in corrispondenza della linea di separazione tra due strati consecutivi di terreno, un nodo nei punti di ancoraggio dei tiranti/puntoni e un nodo in corrispondenza della linea di fondo scavo.

9. FORME DI CARICO

I carichi che agiscono sulla paratia vengono gestiti per **Forme di carico**. Una forma di carico rappresenta in pratica uno o più carichi che vengono gestiti come un tutt'uno (come a disegnare una "forma" di carico): se una data forma di carico è presente in una combinazione di carico allora sono presenti tutti i carichi appartenenti alla

	Nome	tipologia	fav/sfav	Ψ0	Ψ1	Ψ2
1	PERM_1	permanente	favorevole	0,7	0,7	0,6
2	VAR_1	variabile				
3	PERM_2	perm. non strutt.	sfavorevole	0,7	0,7	0,6
4	VAR_2	variabile				

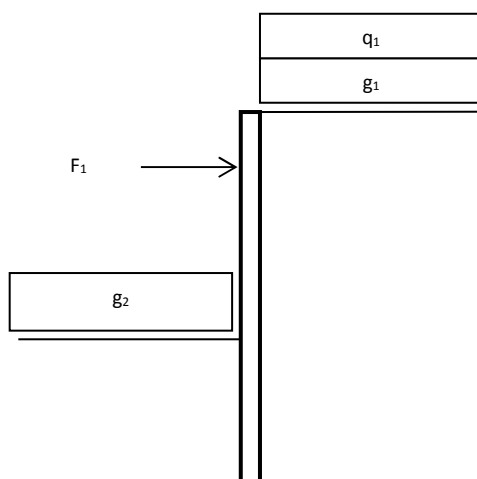
medesima forma di carico.

Una combinazione di carico è la "somma" di più forme di carico: le forme di carico inserite nella stessa combinazione agiscono simultaneamente, in genere con coefficienti di partecipazione diversi a seconda se si tratta di forma di carico permanente, variabile ecc.

Definite le forme di carico da parte dell'utente, le combinazioni di carico possono essere generate in automatico dal software (vedi oltre) e possono essere modificate.

Per definire una forma di carico occorre indicare il nome e la tipologia (tra "permanente", "permanente non strutturale" e "variabile"). Per le forme di carico permanenti occorre precisare se sono a "favore di sicurezza" o "a sfavore di sicurezza". Per le forme di carico variabili occorre inserire i coefficienti di combinazione "raro" Ψ_0 , "frequante" Ψ_1 e "quasi permanente" Ψ_2 ; premendo su "imposta" vengono inseriti i valori relativi alla *Categoria G-Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli* di cui alla Tab. 2.5.I delle NTC, ovvero 0,7 per il coeff. "raro" e "frequante" e 0,6 per il coeff. "quasi permanente", fatto salvo che l'utente può inserire valori diversi.

Ad esempio, volendo definire le forme di carico per la paratia soggetta ai carichi indicati nel disegno di sotto (g_1 e g_2 sono sovraccarichi permanenti, q_1 sovraccarico variabile, F_1 forza concentrata permanente), occorre definire:



- una forma di carico permanente a sfavore di sicurezza per g_1 (e per le spinte dei terreni) che può essere chiamata G1 o PERM1 o PERM_1 o P1 ecc.
- una forma di carico permanente a favore di sicurezza per g_2 e per F_1 che può essere chiamata G2 o PERM2 o PERM_2 o P2 ecc.
- una forma di carico variabile per q_1 che può essere chiamata Q1 o VAR1 o VAR_1 o V1 ecc.

Se nell'esempio fosse stato presente anche un sovraccarico variabile a valle q_2 , indipendente rispetto a q_1 , sarebbe stato necessario definire una seconda forma di carico variabile. Se invece q_2 non fosse stato indipendente da q_1 , non sarebbe stato necessario definire una nuova forma di carico (essendo non indipendenti, q_1 e q_2 risulteranno presenti o assenti contemporaneamente nelle varie combinazioni di carico).

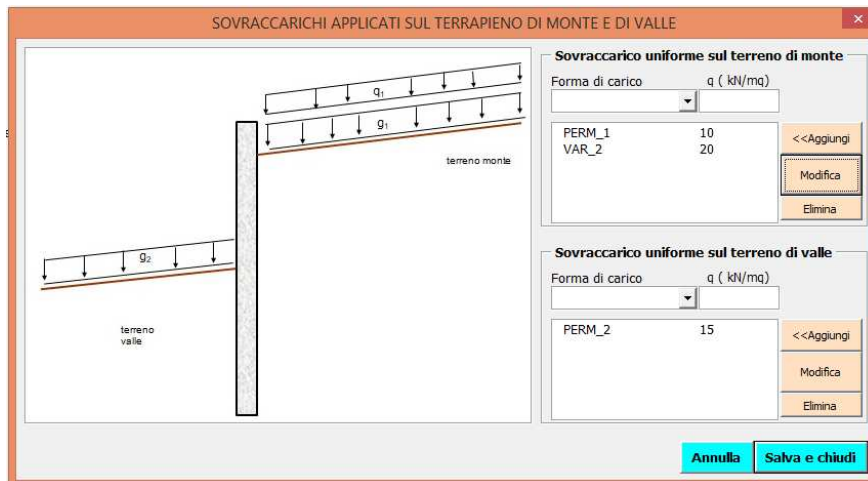
Attenzione: In assenza di carichi esterni, essendo necessaria la presenza nel calcolo di almeno una forma di carico, occorre definire la forma di carico di tipo permanente “a sfavore di sicurezza” per simulare le spinte dei terreni. In presenza di carichi esterni non è, di contro, necessario definire la forma di carico per simulare la spinta dei terreni.

10. Menù CARICHI ESTERNI

10.1 Sovraccarichi sui terreni

Permette di inserire, se presenti, i sovraccarichi uniformemente distribuiti sul terrapieno di monte e sul terrapieno di valle.

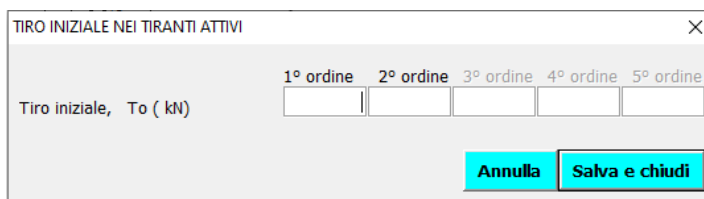
I sovraccarichi sono estesi lungo la direzione Z e quindi sono carichi uniformemente distribuiti per unità di superficie (FL^{-2}). I valori dei carichi sono solo positivi ovvero diretti verso il basso.



Per ogni sovraccarico presente occorre precisare la forma di carico a cui appartiene. Se ad esempio a monte è presente un sovraccarico “permanente” e un sovraccarico

“variabile” e PERM_1 e VAR_2 sono le forme di carico, definite prima, a cui associare i sovraccarichi, dal menù a tendine occorre scegliere la rispettiva forma di carico, indicare l'intensità del carico e premere su “<<Aggiungi”.

10.2 Tiro iniziale nei tiranti attivi



Permette di inserire il tiro iniziale (pretensione) nei tiranti attivi (armatura costituita da trefoli di acciaio armonico ad alta resistenza).

Il tiro iniziale, utile a ridurre

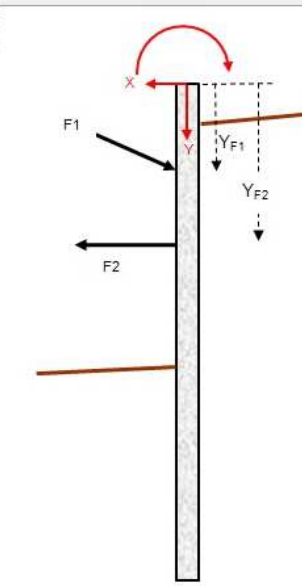
la cedevolezza, cioè lo spostamento della testa del tirante sotto carico e che influenza sensibilmente le sollecitazioni nella paratia, deve essere inferiore a quello massimo che può sopportare il tirante (70-80% max). Lo sforzo di trazione finale nel tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura, oltre che dalle cadute di tensione.

Se si inserisce il valore nullo il tirante è di tipo passivo (lo sforzo di trazione finale nel tirante dipende unicamente dalla deformazione della struttura) e può essere realizzato con trefoli o tondini o, più raramente, con profili tubolari.

10.3 Carichi concentrati sulla paratia (nodali)

Se alla paratia si devono applicare carichi concentrati (forze orizzontali, verticali o momenti), occorre inserirli mediante il presente pannello, precisando l'ordinata Y del punto di applicazione, la forma di carico e l'intensità, tenendo conto del sistema di riferimento assoluto (ad esempio un valore negativo di FX indica una forza discorde con l'asse X).

CARICHI CONCENTRATI APPLICATI SULLA PARATIA



Forma di carico

FX (kN)	FY (kN)	CZ (kN*m)	Y (m)

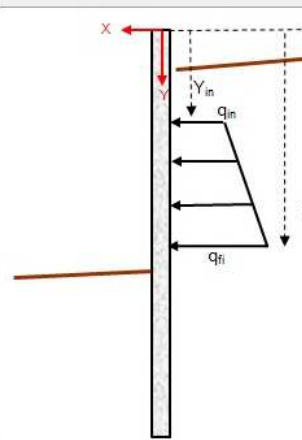
<<Aggiungi
Modifica
Elimina

Forze positive se concordi con il sistema di riferimento assoluto: FX positiva se diretta da monte verso valle, FY se diretta dall'alto verso il basso, CZ se oraria. Forze riferite ad un metro di sviluppo della paratia lungo Z.

Annulla Salva e chiudi

10.4 Carichi distribuiti sulla paratia

CARICHI DISTRIBUITI SULLA PARATIA



Forma di carico

Y_in (m)	Y_fi (m)	q_in (kN/mq)	q_fi (kN/mq)

<<Aggiungi
Modifica
Elimina

Carichi distribuiti positivi se concordi con l'asse X del sistema di riferimento assoluto

Annulla Salva e chiudi

Se alla paratia sono applicati **carichi distribuiti aggiuntivi** (ad esempio per simulare terreno in frana) occorre precisare le coordinate assolute **Y_in** e **Y_fi** del punto di inizio e del punto di fine del sovraccarico (il punto di inizio è quello che sta più in alto), le intensità del sovraccarico in tali punti **q_in** e **q_fi** (valori positivi indicano sovraccarico agente da monte verso valle, valori negativi sovraccarico da valle verso monte) e la forma di carico di appartenenza.

Possono essere definiti più carichi distribuiti agenti sulla paratia.

10.5 Azione sismica

Permette di inserire i dati per il calcolo dell'azione sismica in base alla normativa antisismica scelta in DATI GENERALI. I coefficienti sismici possono essere calcolati dal software (scelta da preferire) o inseriti direttamente dall'utente.

Nel caso di coefficienti sismici calcolati dal software, se si è scelto il D.M. 16/01/1996 occorre inserire l'unico parametro **Grado di sismicità S** relativo al sito di costruzione. Se, invece, si sono scelte le NTC occorre inserire un numero maggiore di parametri (localizzazione, Categoria del sottosuolo, Categoria topografica). Per i siti di costruzione ricadenti sulla penisola o nelle isole di Sicilia, Ischia, Procida e Capri, la localizzazione del sito di costruzione avviene mediante le coordinate Latitudine e Longitudine (esprese in gradi sessadecimali). Le coordinate geografiche si ricavano dalla cartografia di progetto oppure mediante Internet (es. con Google Maps o con Google Earth).

Per le altre isole italiane basta precisare il gruppo a cui appartiene il sito di costruzione.

Il software contiene al suo interno l'archivio dei parametri sismici (a_g , F_0 , T^*_c) del *reticolo di riferimento* composto da 10751 punti (pericolosità sismica di base

dell'INGV di cui all'allegato B alle NTC 2008). Nel caso di sito non coincidente con un nodo del reticolo il software effettua automaticamente l'interpolazione (*interpolazione geografica*) con i dati sismici dei quattro nodi più vicini al sito di costruzione, il tutto in conformità alla procedura indicata in allegato A alla NTC. Analogamente, qualora nelle tabelle dell'allegato B alle NTC non si rinviene il periodo di ritorno T_R corrispondente all'azione sismica da prendere in considerazione, il valore del generico parametro sismico (a_g , F_0 , T^*_c) ad esso corrispondente viene ricavato per interpolazione (*interpolazione temporale*), a partire dai dati relativi ai T_R indicati nelle stesse tabelle, utilizzando l'espressione (2) dell'allegato A alle NTC.

Lo spostamento massimo permanente u_s che l'opera può tollerare senza riduzione di resistenza è un parametro di duttilità che incide anch'esso nel calcolo dell'azione sismica (al suo aumentare diminuiscono, anche sensibilmente, le azioni sismiche). In

assenza di verifica dell'effettivo sviluppo di meccanismi duttili del sistema occorre considerare il valore $u_s=0$ m a cui conseguono le massime azioni sismiche. Deve comunque essere inserito un valore $0 \leq u_s \leq 0,5\% L$, dove L è l'altezza complessiva della paratia.

Per l'analisi sismica *Paratie.Az* applica il **metodo pseudo-statico** in cui l'azione sismica viene simulata da forze statiche (costanti nel tempo) e in cui i coefficienti di proporzionalità sono i coefficienti sismici (C_H coefficiente sismico orizzontale, C_V coefficiente sismico verticale).

10.6 Combinazioni di carico SLU

Permette di generare le combinazioni di carico allo stato limite ultimo secondo le indicazioni della normativa di riferimento. Premendo su "Visualizza/modifica combinazioni" verranno visualizzate le combinazioni di carico in cui alle forme di carico presenti vengono assegnati i coefficienti di combinazione C_c :

- il valore 0 (zero) significa che la forma di carico non è presente nella combinazione
- il valore >0 significa che la forma di carico partecipa alla combinazione, eventualmente con coefficiente di combinazione $C_c=\Psi$ minore di 1

COMBINAZIONI DI CARICO										
10	Numero di combinazioni create									
Nome combinaz.	FORME DI CARICO E COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE C_c									
	E	PERM 1	VAR 1	PERM 2	VAR 2					
COMB. 1 (SLU-F)	0	1	0	1	0					
COMB. 2 (SLU-F)	0	1	1	1	0					
COMB. 3 (SLU-F)	0	1	0	1	1					
COMB. 4 (SLU-F)	0	1	1	1	0.7					
COMB. 5 (SLU-F)	0	1	0.7	1	1					
COMB. 6 (SLU-S)	1	1	0	1	0					
COMB. 7 (SLU-S)	1	1	0.6	1	0					
COMB. 8 (SLU-S)	1	1	0	1	0.6					
COMB. 9 (SLU-S)	1	1	0.6	1	0.6					
COMB. 10 (SLU-S)	1	1	0.6	1	0.6					

Detto N_p il numero di forme di carico permanenti e N_v il numero di forme di carico variabili, vengono create dal software:

- la combinazione di carico in cui sono presenti solo i carichi permanenti

$$Comb_1 = G_1 + G_2 + \dots$$

- N_v combinazioni in cui è presente a rotazione una sola forma di carico variabile

$$Comb_j = G_1 + G_2 + \dots + Q_i \quad i=1,2, \dots, N_v$$

- N_v combinazioni in cui è presente una forma di carico variabile dominante e le altre forme di carico variabili secondarie (che partecipano con Ψ_0). Ognuna delle forme variabili viene impostata a turno come dominante:

$$Comb_j = G_1 + G_2 + \dots + Q_1 + \Psi_{02} \cdot Q_2 + \Psi_{03} \cdot Q_3 + \dots$$

In presenza di sisma le combinazioni di carico raddoppiano (le stesse di prima con la presenza della forma di carico "sisma" E e con i coefficienti "quasi permanenti" Ψ_2 al posto di quelli "rari" Ψ_0).

La sigla "SLU-F" indica combinazione allo stato limite ultimo di tipo "Fondamentale" (cfr. Capitolo 2 NTC), la sigla "SLU-S" combinazione allo stato limite ultimo sismica (E).

Nell'esempio sopra indicato, la combinazione 10 coincide con la 9 essendo i coefficienti di combinazione Ψ_2 delle forme di carico variabili uguali. In questo caso la combinazione di carico 10 può essere eliminata.

L'utente può eliminare, inserire o modificare le combinazioni di carico create dal software, non lasciando righe vuote tra le combinazioni. Nel caso di aggiunta o eliminazione di combinazioni occorre adeguare il valore della cella "Numero di combinazioni create".

10.7 Combinazioni di carico S.L.E.

Analogamente al paragrafo precedente, quando si opera con le NTC con paratie in c.a. o in acciaio occorre generare le combinazioni di carico allo stato limite di esercizio secondo le indicazioni della normativa di riferimento. Il funzionamento è identico a quello visto per le combinazioni di carico SLU.

La colonna tipologia precisa il tipo di combinazioni di carico allo SLE (combinazione **permanente**, **rara**, **frequente** e **quasi permanente**, ottenute in base ai valori dei coefficienti di combinazione Ψ_0 , Ψ_1 e Ψ_2 previsti dalla normativa).

COMBINAZIONI DI CARICO S.L.E.											
6	Numero di combinazioni create										
		FORME DI CARICO E COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE C_c									
Nome combinaz.	Tipologia	E	ACC								
COMB. 1 SLE	Permanente	0	0								
COMB. 2 SLE	Rara	0	1								
COMB. 3 SLE	Frequente	0	0,7								
COMB. 4 SLE	Quasi permanente	0	0,6								
COMB. 5 SLE	Sismica	1	0								
COMB. 6 SLE	Sismica	1	0,6								

COMBINAZIONI DI CARICO SLE

Combinazioni

COMB. 1 SLE

COMB. 2 SLE

COMB. 3 SLE

COMB. 4 SLE

COMB. 5 SLE

COMB. 6 SLE

Genera combinazioni

Visualizza/modifica combinazioni

Chiudi

11. Menù ARMATURE

11.1 Paratia in c.a.

DATI PER IL CALCOLO DELLE ARMATURE NELLE PARATIE IN C.A.

Armatura longitudinale a flessione

16 diametro tondini (mm)

3 copriferro (cm)

3 distanza minima tra le barre - interferro (cm)

30 interasse massimo tra le barre (cm)

1 (x diaframmi) rapporto armatura A'_f/A_f (tra 0 e 1)

Armatura trasversale a taglio

diaframma in c.a.

8 diametro staffe o ferri di ripartizione (mm)

4 n° braccia staffe per metro lineare di paratia

30 angolo (°) di inclinazione teta delle fessure (tra 21,8° e 45°)

pali in c.a.

8 diametro spirale o staffe ☐ staffe circolari singole ☒ staffe a spirale

Limiti armatura travi in elevazione

☒ da comportamento strutturale non dissipativo (4.1.6 NTC)

☐ da comportamento strutturale dissipativo (7.4.6 NTC)

☒ Classe duttilità Alta (CD "A")

☐ Classe Duttilità Media (CD "B")

Annulla

Salva e chiudi

Per le **paratie in C.A.** occorre fissare:

- (solo per i diaframmi) il rapporto armature $\mu = A'_f/A_f$, compreso tra 0 e 1 (armatura in zona compressa su armatura in zona tesa)⁷;
- il diametro dei tondini⁸ (armatura longitudinale a presso-flessione);

- il copriferro (distanza fra la superficie esterna dell'armatura longitudinale, più prossima alla superficie del calcestruzzo, e la superficie stessa del conglomerato cementizio);
- l'interferro minimo (distanza minima tra le superfici esterne dei tondini);
- l'interasse massimo tra gli assi delle barre di armatura longitudinale.

Inoltre, per l'armatura trasversale a taglio (in genere non occorre specifica armatura) nei diaframmi occorre precisare:

- il diametro dei tondini;
- il numero di braccia delle staffe che interessano un metro di paratia in direzione ortogonale al disegno.

Se la paratia è realizzata mediante pali occorre solamente indicare il diametro delle staffe o della spirale che avvolge le barre longitudinali del palo e se trattasi di staffe circolari singole o spirale continua.

Per entrambe le tipologie occorre precisare l'angolo ϑ di inclinazione delle fessure nel calcolo a taglio (di default 30°).

⁷ Le NTC (paragr. 7.4.6.2.1) impongono che in zona sismica si abbia μ almeno pari a 0,25 (per le paratie si consiglia il valore 1, soprattutto per quelle tirantate).

⁸ Le NTC (paragr. 7.4.6.2.1) impongono che in zona sismica si adotti il diametro minimo dei tondini pari a 14 mm.

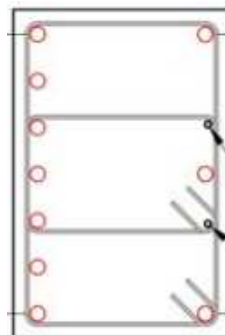
In presenza di azione sismica e con le NTC occorre infine indicare quali limiti di armatura il software deve rispettare, scegliendo tra quelli relativi al comportamento non dissipativo della struttura e quelli relativi al comportamento dissipativo (limiti più restrittivi che comportano maggiori quantitativi di armatura).

11.2 Cordoli di testa ed intermedi in c.a.

DATI ARMATURE CORDOLI DI TESTA O INTERMEDI IN C.A.

Armatura longitudinale a flessione e trasversale a taglio

diametro tondini (mm)
 copriferro (cm)
 diametro staffe (mm)
 n° braccia staffe



Esempio di staffe con 4

braccia

12. Menù IMPOSTAZIONI

12.1 Impostazioni

OPZIONI ED IMPOSTAZIONI DI CALCOLO

Coefficienti di sicurezza (DM 11/03/1988)

Verifica alla rotaz. intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido): tra 1 e 3
 Verifica al sifonamento: tra 2 e 5
 Verifica a sollevamento del fondo scavo

Calcolo della spinta dei terreni

☒ Coulomb-Muller Breslau
☐ Mononobe-Okabe
☐ Lancellotta (preferibile in presenza di significativo angolo di attrito terra-paratia)

altre impostazioni

Peso dell'unità di volume dell'acqua (kN/mc)

Spinta terre (FEM)

spinta attiva monte fino a prof.tà z (m) =
 spinta passiva valle fino a prof.tà z (m) =

Condizioni di aderenza cls-acciaio nei tiranti

☒ condizione di buona aderenza
☐ condizione di non buona aderenza (armature molte addensate e ancoraggi in stato di trazione, a meno che non si adottino idonei provvedimenti)

Tipo di analisi

☐ Analisi lineare
☒ Analisi non lineare

numero massimo di iterazioni
 errore accettabile

Scale disegni

disegno paratia 1:
 disegno verif. stabilità globale 1:

parametri di calcolo equazioni di equilibrio

a1=D1/(H+H1) Eta1
 a2=D2/(H+H1) Eta2

Nel caso si procede secondo il D.M. del 1988 occorre inserire i coefficienti di sicurezza per la verifica alla rotazione della paratia, pensata come corpo rigido, intorno a un punto dell'opera, il coefficiente di sicurezza al sifonamento e quello a sollevamento del fondo scavo

(quest'ultimi due se è presente falda in moto di filtrazione). Tali coefficienti devono essere maggiore di uno e il loro valore va scelto a seconda del grado di conoscenza dei parametri geotecnici dei terreni, dell'affidabilità del modello adottato e delle conseguenze in caso di crollo.

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 42 di 88
---	----------------------	---------------

Per il calcolo dei coefficienti di spinta attiva e passiva possono essere utilizzate le **formulazioni di Coulomb**, generalizzata da Muller-Breslau al caso di terrapieno inclinato, parete interna inclinata e angolo di attrito parete-terreno, e da Mononobe-Okabe al caso sismico, oppure la **formulazione di Lancellotta (2002/2007)**, utilizzabile anche in condizioni sismiche e da preferire in presenza di angoli di attrito parete-terreno superiori al 50% dell'angolo di resistenza al taglio del terreno.

Nel caso di FEM e Analisi lineare occorre specificare la profondità fino alla quale considerare agente la spinta attiva del terreno di monte: premendo su "imposta" il software suggerisce i valori da adottare (spinta di monte agente solo per la parte di paratia fuori terra).

Con l'analisi FEM lineare le molle che modellano il terreno di valle sotto la linea di fondo scavo sono a comportamento elastico lineare. Nel caso di analisi-non lineare, più aderente al comportamento reale del terreno, le molle che modellano il terreno di monte e di valle, e che rappresentano la reazione che il terreno oppone ai movimenti della paratia, sono a comportamento elastico-perfettamente plastico: a riposo sono soggette a una precompressione iniziale data dalla spinta a riposo del terreno e sotto movimento raggiungono per decompressione il valore della spinta attiva e per compressione il valore della spinta passiva, arrivando quindi, superati certi limiti, a plasticizzazione.

Per i parametri "numero massimo di iterazioni" e "errore accettabile" possono essere lasciati i valori di default (rispettivamente 10 e 0,001).

Qualora l'analisi restituisce spostamenti della paratia molto elevati, con diagrammi delle sollecitazioni anomali, significa che la paratia non è in condizioni di equilibrio (molle tutte plasticizzate) per cui è necessario riprogettare la paratia.

In presenza di tiranti occorre precisare le condizioni di aderenza calcestruzzo-acciaio.

I "*parametri di calcolo equazioni di equilibrio*" entrano in gioco nella soluzione, con il *metodo della bisezione*, delle equazioni di equilibrio non lineari (traslazione orizzontale e rotazione) nella verifica alla rotazione della paratia intorno a un punto (paratia a sbalzo o con massimo un ordine di ancoraggi).

Nel caso di calcolo di progetto occorre fissare gli estremi inferiore D_1 e superiore D_2 dell'intervallo in cui varia la profondità di infissione D della paratia in rapporto all'altezza della paratia fuori scavo ($H+H_1$). Nel caso di calcolo di verifica si procede analogamente ma con riferimento all'intervallo dei coefficienti di sicurezza alla rotazione. Il bottone "valori suggeriti" permette di pre-impostare tali parametri.

12.2 Verifiche SLE

DATI PER LE VERIFICHE AGLI S.L.E.

Durata carichi

☐ carichi di breve durata

☒ carichi di lunga durata o ciclici

Verifica allo Stato Limite di fessurazione

condizioni ambientali:

sensibilità armatura alla corrosione:

metodo di calcolo apertura fessure wd

☐ DM 1996 ☒ DM 2008

Verifica delle tensioni di esercizio

valori NTC

tensione ammiss. nel cls per la combinaz. caratteristica	60	% di fck
tensione ammiss. nel cls. per la combinaz. quasi permanente	45	% di fck
tensione ammiss. nell'acciaio per la combinaz. caratteristica	80	% di fyk

Annulla Salva e chiudi

Da questo pannello si inseriscono i dati per le verifiche agli stati limite di esercizio di fessurazione e alle tensioni di esercizio per le paratie in c.a. calcolate con le NTC.

Maggiori indicazioni inerenti i metodi di calcolo sono riportate nella Relazione di calcolo che correda il software.

Il bottone “*valori NTC*” consente di impostare le percentuali come da indicazioni delle NTC.

12.3 Fasi di scavo

FASI DI SCAVO

Definisci fasi di scavo, messa in esercizio tiranti/puntoni e azioni presenti

Descrizione fase:

altezza di scavo H (m):

attivati i tiranti/puntoni fino all'ordine:

sovraccarico terreno di monte q1:

sovraccarico terreno di valle q2:

sovraccarico sulla paratia q3:

sisma:

Carica >>

Modifica

Elimina

N.B. Le altezze di scavo H e N_a devono essere non decrescenti al progredire delle fasi di scavo

N° fase	descriz	H (m)	N_a	q1	q2	q3	sisma
1	Scavo fino a 1 m	1	0	No			
2	attivazione puntone	1	1				
3	scavo fino a 5,5 m	5,5	1				

Annulla Salva e chiudi

Nel caso si procede con l'analisi per fasi di scavo occorre definire ogni singola fase:

- Descrizione
- Altezza di scavo (non decrescente all'aumentare del numero della fase)
- Ordini di tiranti/puntoni attivati fino alla data fase (solo se presenti tiranti/puntoni)
- Sovraccarichi che agiscono per ogni fase (solo qualora previsti e inputati in precedenza dal menù CARICHI ESTERNI).

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 44 di 88
---	----------------------	---------------

Tale analisi è opportuna nel caso di paratie tirantate o con puntoni nelle quali è utile calcolare le sollecitazioni sulla paratia nelle diverse fasi di costruzione e in quelle di esercizio dell'opera finita.

13. CALCOLO

Finita la fase di input è possibile avviare il calcolo premendo il relativo pulsante. Il calcolo si può ripetere tutte le volte che si vuole, ad es. variando singoli parametri di input.

Durante la fase di calcolo il programma controlla la compatibilità dei dati introdotti segnalando eventuali errori che comportano l'interruzione del calcolo. Si precisa comunque che il programma si limita a verificare le incongruenze geometriche o fisico-meccaniche che non permettano l'elaborazione; non segnala eventuali errori del progettista sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali, né altri tipi di errori.

In certi casi di calcolo non lineare con il metodo agli elementi finiti con mesh molto fitta, i tempi di calcolo possono essere relativamente alti (dell'ordine delle decine di minuti), soprattutto se si tratta di paratia in c.a. di cui si chiede anche il calcolo strutturale della paratia (le verifiche strutturali vengono effettuate in tutte le sezioni in corrispondenza dei nodi della mesh). Per ridurre i tempi di calcolo si può aumentare la lunghezza media degli elementi finiti e/o disabilitare i calcoli strutturali (quando non necessari).

Il metodo agli elementi finiti (lineare o, meglio, non lineare) permette di operare su molti parametri per ottenere un progetto della paratia che meglio soddisfi le esigenze del progettista. È bene accompagnare un calcolo FEM con un calcolo con il metodo classico dell'equilibrio limite (LEM), quando possibile, per avere maggiori notizie sulla stabilità ultima della paratia.

Le metodologie e le teorie di calcolo implementate nel software sono riportate nella **Relazione di calcolo** che correda il software. Le spinte delle terre sono calcolate con la teoria di Coulomb, estesa da Mayniel e Muller-Breslau e, in condizioni sismiche, da Mononobe-Okabe (approccio pseudo-statico) oppure con il metodo di Lancellotta.

La verifica di stabilità globale è effettuata con il metodo di Bishop (superfici di rottura circolari).

La verifica allo sfilamento dei tiranti è effettuata con il metodo di Bustamante e Doix.

14. OUTPUT (menù VISUALIZZA)

L'applicativo fornisce i seguenti risultati riportati nel **Tabulato di calcolo**:

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 45 di 88
---	----------------------	---------------

- a) **Parametri sismici per il sito di costruzione** (coefficienti sismici, accelerazione massima attesa al sito, ecc.)
- b) **Resistenze geotecniche e strutturali dei tiranti di ancoraggio** (quando presenti)
- c) **Verifica di stabilità geotecnica alla rotazione intorno a un punto dell'opera**, con indicazione:
 - dei coefficienti di spinta attiva e passiva (metodo di Coulomb generalizzato o di Lancellotta)
 - della profondità del punto di rotazione
 - della posizione dei punti caratteristici con i relativi valori della tensione verticale, della pressione neutra e delle tensioni orizzontali attiva e/o passiva
 - delle spinte attive e passive, comprensive dell'eventuale spinta dell'acqua, che si generano sulla paratia nella condizione di equilibrio limite e dei rispettivi bracci rispetto all'estremità inferiore della paratia o rispetto al punto di ancoraggio (paratie con tiranti)
 - del coefficiente di sicurezza e dell'esito della verifica (nel calcolo di progetto viene indicata la profondità di infissione da assegnare alla paratia)

N.B. questa verifica non viene eseguita per le paratie multi-ancorate in quanto il cinematismo di rotazione attorno a un punto dell'opera non si può generare
- d) **Verifica di stabilità globale**, con l'indicazione del cerchio critico a cui corrisponde il minimo coefficiente di sicurezza (metodo di Bishop)
- e) **Verifica al carico limite del complesso paratia-terreni** nei riguardi delle azioni assiali di compressione e trazione
- f) **Caratteristiche di sollecitazione agenti sulla paratia** (sforzo normale, taglio e momento flettente)
- g) **Reazioni vincolari e pressioni di contatto paratia-terreni** (calcolo FEM)
- h) **Spostamenti della paratia** (calcolo FEM)
- i) **Calcolo e verifiche strutturali**, con indicazione:
 - delle caratteristiche di sollecitazione agenti sulle sezioni calcolate
 - dell'armatura longitudinale di calcolo (per le paratie in C.A.)
 - dell'armatura trasversale a taglio (per le paratie in C.A.)
 - dell'esito delle verifiche strutturali con il metodo delle tensioni ammissibili o con il metodo degli stati limite ultimi, a seconda della normativa prescelta
- j) **Verifiche geotecniche e strutturali sui tiranti di ancoraggio** (se presenti)
- k) per le paratie in c.a.: **disegni esecutivi**, esportabili in **file dxf**

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 46 di 88
---	----------------------	---------------

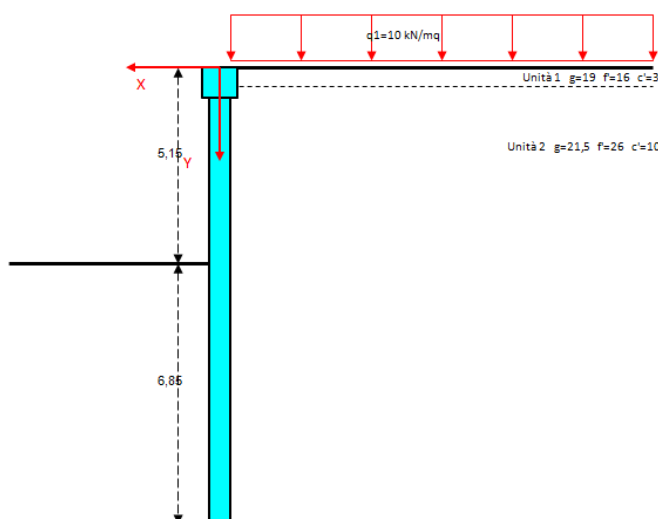
- l) **Verifiche allo SLE** (*spostamenti, fessurazione e tensioni di esercizio*), con indicazione:
- degli spostamenti e rotazioni delle sezioni della paratia
 - delle caratteristiche di sollecitazione agenti sulle sezioni calcolate
 - dei valori delle aperture delle fessure (paratie in c.a.)
 - dei valori delle tensioni di esercizio (paratie in c.a.)
- m) **Verifiche idrauliche a sifonamento e al sollevamento del fondo scavo** (se presente falda in moto di filtrazione)
- n) **Computo metrico** dei materiali da costruzione.

I risultati di cui alle lettere c), d), e), f), g), h), i), j) vengono riportati per ogni combinazione di carico SLU generata dal software.

L'esito negativo delle verifiche di stabilità e/o strutturali viene messo in risalto con carattere grassetto e colore rosso. Pertanto se nel tabulato di calcolo non risultano scritte di colore rosso significa che tutte le verifiche sono soddisfatte.

Dal menù VISUALIZZA possono essere visualizzati:

- il Tabulato di calcolo;
- il disegno della paratia, alla scala voluta, compresa l'indicazione della falda, della stratigrafia e dei tiranti/puntoni di ancoraggio, se presenti



- il disegno in pianta, prospetto e sezione della paratia, alla scala voluta;
- il diagramma dei carichi esterni orizzontali $q_z(x)$ agenti sulla paratia, per ogni combinazione di carico. Nel caso di calcolo LEM tali diagrammi rappresentano le spinte attive e passive dei terreni che agiscono a monte e a valle in condizione di equilibrio limite; nel caso di calcolo FEM, invece, sono rappresentate: 1) per l'analisi lineare, le azioni distribuite esterne applicate alla paratia (spinta del terreno di monte, diagramma delle pressioni dell'acqua che agisce sopra i piani di campagna, diagrammi

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 47 di 88
---	----------------------	---------------

carichi distribuiti aggiuntivi applicati alla paratia); 2) per l'analisi non lineare, le azioni esterne con esclusione delle spinte delle terre di monte e di valle;

- i diagrammi dello Sforzo normale $N_x(x)$, del Taglio $T_z(x)$ e del Momento flettente $M_y(x)$ agenti sulla paratia, necessari per le verifiche strutturali della stessa (per ogni combinazione di carico);
- il diagramma delle pressioni di contatto paratia-terreni (interazione) (calcolo FEM);
- il diagramma degli spostamenti orizzontali della paratia (calcolo FEM);
- il disegno delle verifica di stabilità globale o del pendio;
- i disegni esecutivi per le paratie in c.a., anche in file dxf

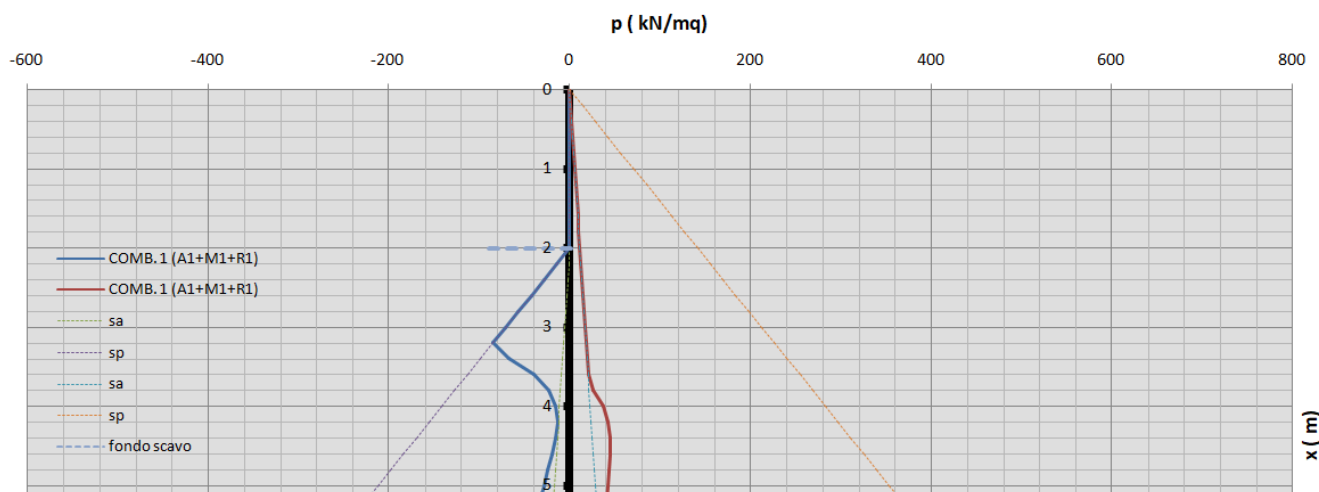
- la **Relazione di calcolo**, in formato .doc modificabile e personalizzabile, contenente anche le teorie ed i metodi implementati in *Paratie.Az*, a cui allegare il Tabulato di calcolo. Il progettista/tecnico apporterà alla Relazione di calcolo le modifiche e le integrazioni dipendenti dal caso in studio, con riferimento alle parti evidenziate in giallo e laddove ritenuto necessario.

Gli spostamenti della paratia sono dell'ordine dei mm. Se si vogliono ridurre si può aumentare l'inerzia della sezione, la profondità di infissione (superata, però, la lunghezza critica non si hanno più diminuzioni sensibili), la sezione, la posizione ed il numero dei tiranti/puntoni.

Il diagramma delle pressioni di contatto paratia-terreni che viene fuori dall'analisi non-lineare è molto indicativo in quanto consente di verificare graficamente le molle plasticizzate. Dal grafico si può vedere il contributo che ogni molla espleta all'equilibrio (risorse mobilitate) e valutare l'entità delle risorse ancora disponibili prima di arrivare a rottura per spinta passiva. Nelle zone di terreno dove si è raggiunto il valore di spinta passiva (linea inclinata tratteggiata più esterna) non possono essere mobilitate ulteriori risorse per l'equilibrio. Le linee tratteggiate più interne rappresentano i diagrammi delle spinte attive. In qualunque nodo è quindi immediato verificare, sia a monte che a valle, se è agente in equilibrio la spinta attiva,

passiva o intermedia. Si può notare in quali zone non si è ancora raggiunta la condizione di rottura per spinta passiva e quindi in tali zone il terreno dispone ancora di una riserva di resistenza mobilitabile per l'equilibrio. Approfondendo lo scavo (aumentando H) e ripetendo il calcolo si può seguire l'evoluzione della situazione sopra rappresentata.

DIAGRAMMA PRESSIONI ORIZZONTALI NEL TERRENO



Il grafico degli spostamenti della paratia (deformata) testimonia il punto attorno al quale ruota la paratia. Sotto questo punto avviene una inversione del diagramma delle spinte, nel senso che la zona di spinta passiva si trova ora a monte e non più a valle.

Tutti i disegni e i grafici restituiti dal software sono stampabili.

15. LICENZA D'USO E RESTRIZIONI DEL SOFTWARE

L'autore conferisce licenza d'uso non esclusiva dell'applicativo, ma rimane titolare sia dello stesso che della relativa documentazione. L'uso è consentito **su un singolo computer** e, pertanto, non potrà essere utilizzato in rete, venduto, dato in locazione o in comodato ad un altro utente, né essere decodificato o decompilato, adattato o modificato, senza previo consenso scritto dell'autore.

L'utente non potrà rimuovere o alterare il nome dell'applicativo o altre indicazioni di riserva di diritti apposti o inseriti nel programma. Non è consentito l'inserimento in pacchetti destinati all'editoria o alla vendita senza la preventiva autorizzazione scritta dell'autore.

L'autore si riserva il diritto di apportare modifiche al software e alla documentazione senza preavviso.

<p>Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)</p>	<p>Manuale d'uso</p>	<p>Pag. 49 di 88</p>
--	-----------------------------	----------------------

Per potere utilizzare l'applicativo è indispensabile che l'utente disponga ed abbia già installato sul proprio computer il programma Excel® della Microsoft, non fornito dall'autore e senza il quale questo software non può essere utilizzato.

L'autore garantisce che l'applicativo funziona in conformità con il presente manuale d'uso e che esso non contiene virus.

L'uso dell'applicativo è subordinato alla conoscenza dei problemi ingegneristici di che tratta (si presume che l'uso dell'applicativo avvenga da parte di persone qualificate). È stato curato in gran parte il controllo dei dati inseriti.

La verifica dell'idoneità, dell'uso e della gestione dell'applicativo sono responsabilità esclusiva dell'utente. L'autore non garantisce che le funzioni contenute nell'applicativo siano idonee a soddisfare le esigenze dell'utente, né garantisce che i difetti riscontrati nell'applicativo vengano corretti. Non garantisce altresì circa i danni od i benefici ottenuti dalla utilizzazione del software.

L'autore è espressamente sollevato da ogni responsabilità per qualsiasi danno, diretto od indiretto, di ogni genere e specie derivante dall'uso del software, compreso, tra l'altro, quello improprio, erroneo o fraudolento. L'intero rischio circa la qualità e le prestazioni dell'applicativo è a carico dell'utente ed i risultati devono essere verificati personalmente.

In nessun caso il limite di responsabilità a carico dell'autore potrà superare l'importo per l'acquisto dell'applicativo.

Per tutto quanto sopra non indicato, il presente contratto è regolato dalle leggi sul copyright, sul diritto d'autore e dalle altre leggi nazionali applicabili. Per qualsiasi controversia fra le parti sarà competente in via esclusiva il Foro di Palermo.

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 50 di 88
---	----------------------	---------------

APPENDICE 1 – VALORI INDICATIVI PROPRIETA' FISICO-MECCANICHE TERRENI

Valori indicativi del peso dell'unità di volume (espressi in kg/m³)

Terreno	γ
Ghiaia asciutta	1800-2000
Ghiaia umida	1900-2100
Sabbia asciutta compatta	1700-2000
Sabbia umida compatta	1900-2100
Sabbia bagnata compatta	2000-2200
Sabbia asciutta sciolta	1500-1800
Sabbia umida sciolta	1600-1900
Sabbia bagnata sciolta	1900-2100
Argilla sabbiosa	1800-2200
Argilla dura	2000-2100
Argilla semisolida	1900-1950
Argilla molle	1800-1850

Valori indicativi dell'angolo di resistenza al taglio (espressi in °)

Terreno	ϕ'
Ghiaia compatta	35
Ghiaia sciolta	33-35
Sabbia compatta	35-45
Sabbia sciolta	25-35
Marna sabbiosa	22-29
Marna grassa	16-22
Argilla grassa	5-30
Argilla sabbiosa	16-28
Limo	20-27

Valori indicativi della coesione (espressi in kg/m²)

Terreno	c
Argilla sabbiosa	2000
Argilla molle	1000
Argilla plastica	2500
Argilla semisolida	5000
Argilla solida	10000
Argilla tenace	2000-10000
Limo compatto	1000

Valori indicativi della costante di Winkler (espressi in kg/cm³)

Terreno	k_w
Sabbia sciolta	0,5-1,60
Sabbia mediamente compatta	1-8
Sabbia compatta	6,5-13
Sabbia argillosa mediamente compatta	2,5-5
Sabbia limosa mediamente compatta	2,5-5
Sabbia e ghiaia compatta	10-30
Argilla	1,2-10

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 51 di 88
---	----------------------	---------------

Valori indicativi del modulo elastico del terreno (espressi in kg/cm²)

Terreno	E_t
Argilla molto molle	3,5-21
Argilla molle	17,5-42
Argilla di media consistenza	42-84
Argilla compatta	70-175
Argilla limosa	280-420
Limo sabbioso	70-210
Sabbia sciolta	105-245
Sabbia densa media	490-840
Sabbia densa e ghiaia	980-1960

Valori indicativi dell'angolo di attrito δ (espressi °) in funzione dei materiali a contatto

Muratura e:

- Roccia	35°
- Ghiaia, sabbia e ghiaia, sabbia grossa	29-31°
- Sabbia da fina a media, ghiaia con limo o argilla	24-29°
- Sabbia fina, sabbia da fina a media, limosa o argillosa	19-24°
- Limo sabbioso	22-26°
- Argilla	17-19°

Acciaio e:

- Ghiaia, sabbia e ghiaia	33°
- Sabbia, sabbia limosa e ghiaia	17°
- Sabbia limosa, ghiaia o sabbia con limo a argillosa	14°
- Limo sabbioso	11°

Calcestruzzo e:

- Ghiaia, sabbia e ghiaia	22-26°
- Sabbia, sabbia limosa e ghiaia	17-22°
- Sabbia limosa, ghiaia o sabbia con limo a argillosa	14°
- Limo sabbioso	14°


In funzione dell'angolo di resistenza al taglio del terreno a contatto:

Calcestruzzo: $0,5\varphi' \leq \delta \leq 0,67\varphi'$

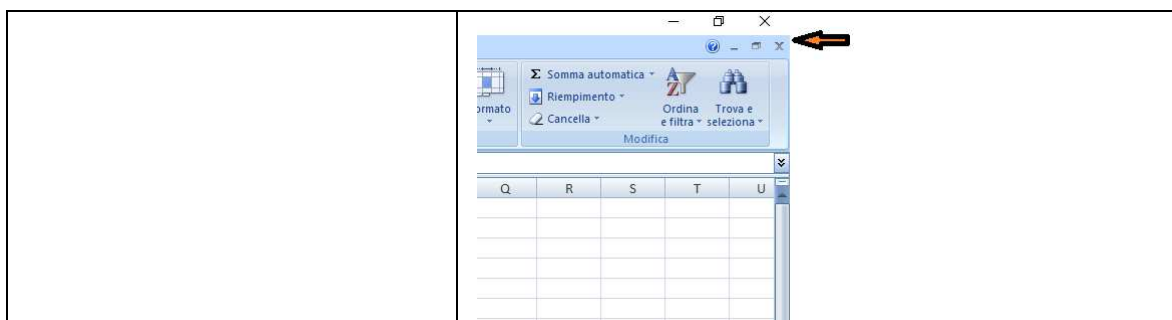
Acciaio: $0,33\varphi' \leq \delta \leq 0,5\varphi'$

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 52 di 88
---	----------------------	---------------

APPENDICE 2 – GESTIONE ERRORI E REQUISITI DI SISTEMA

Tipo di errore	Soluzione
Errore di run-time 13 oppure non vengono calcolati i coefficienti sismici oppure altri parametri danno risultati sballati	<p>È necessario verificare che venga usato, da sistema operativo, come separatore decimale la virgola e come separatore di migliaia il punto. Se l'utente utilizza l'impostazione inversa, infatti, alcuni parametri non vengono calcolati. Per verificare i separatori andare in Opzioni Internazionali e della lingua del Pannello di controllo di Windows.</p> <p>Se il problema persiste, aprire Excel (nelle versioni precedenti alla 2007 cercare il menù Opzioni), fare clic sul pulsante  (in alto a sinistra), quindi su Opzioni di Excel. In Opzioni di modifica nella categoria Impostazioni avanzate selezionare la casella di controllo Utilizza separatori di sistema.</p>
La verifica alla rotazione attorno ad un punto non converge (viene visualizzato il relativo messaggio).	Verificare il valore della coesione drenata c' dei terreni in quanto se molto alta il diagramma delle spinte, in certi tratti a monte e/o a valle della paratia, si annulla e non può essere assicurato l'equilibrio alla traslazione orizzontale e/o alla rotazione della paratia pensata come corpo rigido.
Non si apre la Relazione di calcolo dal menù Visualizza	<p>Controllare che il modello (file .doc) della relazione di calcolo sia presente nella stessa cartella che contiene il software e che abbia il nome di "Relazione di calcolo Paratie.Az".</p> <p>Se il problema persiste, esso può dipendere dalla versione e dai componenti installati del pacchetto Office di Microsoft nel pc dell'utente.</p> <p>In ogni caso la Relazione di calcolo che si genera premendo nel relativo link del software è la stessa di quella in formato .doc che viene inviata all'utente al momento dell'acquisto. Pertanto, anche se non si apre dal link del software Paratie.Az, si può lo stesso utilizzarla accedendo direttamente al file .doc.</p>
Errore di run-time 1004	<p>Questo tipo di errore si può verificare alla prima installazione. In genere basta chiudere e riaprire il file.</p> <p>Controllare anche se gli identificativi delle colonne dei fogli di Excel sono rappresentati da numeri. Se è così, occorre ripristinare la configurazione di default in cui le colonne sono identificate con le lettere A, B, C, (File>Opzioni>Formule> togliere la spunta in <i>Stile di riferimento R1C1</i>)</p>
Alla chiusura del software viene richiesta una password di Visual Basic	<p>La password non va inserita e si deve cliccare sul bottone chiudi per diverse volte consecutive.</p> <p>Per evitare la richiesta di password si provi a chiudere prima il file e poi Excel (con riferimento alle due X in alto a destra, cliccare prima sulla X inferiore e poi su quella superiore):</p>

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 53 di 88
---	----------------------	---------------



Requisiti di sistema

Microsoft Excel® 2019, 2016, 2013, 2010, 2007, 2003, 2000, 1997 o Office 365 con Excel, o versioni successive.

Microsoft Windows® 10, 8.1, 8, Windows 7, Vista, XP SP3, Server 2008, Server 2003, o versioni successive. Su sistema operativo **Apple macOS** è necessaria una virtual machine (per esempio *BootCamp* o *Desktop Parallels*) che consenta di eseguire Windows e Microsoft Excel

256 MB RAM (Raccomandati: 512 MB RAM o più)

Hard Disk: almeno 100 MB di spazio libero.

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 54 di 88
---	----------------------	---------------

APPENDICE 3 – NOVITA' NELLE VARIE VERSIONI DEL SOFTWARE

Versione 4.0

- **Terreni stratificati**
- **Paratie ancorate** (con un ordine di ancoraggi)
- possibilità di considerare paratie di altezza maggiore del terrapieno di monte
- possibilità di considerare sovraccarico permanente a valle

Versione 5.0

- **verifiche strutturali per la paratie in c.a.**, sia con metodo alle tensioni ammissibili che allo stato limite ultimo
- **verifiche strutturali per la paratie in acciaio**, sia con metodo alle tensioni ammissibili che allo stato limite ultimo
- **profili topografici dei terreni anche inclinati**
- possibilità di considerare la coesione drenata c' nel calcolo delle spinte e possibilità di distinguere gli angoli di attrito terreno-paratia per la spinta attiva e per quella passiva
- calcolo parametri sismici e coefficienti sismici
- calcolo peso proprio paratia che incide sullo sforzo normale che agisce sulle sezioni.

Versione 6.0

- cambio posizione e orientamento del sistema di riferimento globale XYZ; posizionamento delle falda e dei tiranti mediante il sistema di riferimento locale z del terreno
- calcolo delle **spinte in condizioni sismiche**
- verifiche SLU geotecniche con la sola combinazione 2 (Approccio 1) e verifiche SLU strutturali con la sola combinazione 1 (coefficienti sulle azioni applicati alle sollecitazioni)
- calcolo paratia anche con il **metodo agli elementi finiti (FEM)**, che consente tra l'altro di:
 - ottenere gli **spostamenti** della paratia
 - calcolare **paratie con più ordini di tiranti**
- **verifiche idrauliche a sifonamento** e al **sollevamento del fondo scavo** (moto di filtrazione permanente monodimensionale)
- **calcolo geotecnico e strutturale dei tiranti di ancoraggio**, sia temporanei che permanenti
- ulteriori tipi di sezione palancole in acciaio (**IPE, HEA, HEB, HEM, generica**)

Versione 7.0

- calcolo agli elementi finiti con **analisi non-lineare** (molle del terreno, presenti sia a monte che a valle della paratia, di **tipo elastico-perfettamente plastico**, soggette a riposo a una precompressione iniziale data dalla spinta a riposo del terreno e che raggiungono per decompressione il valore della spinta attiva e per compressione il valore della spinta passiva, arrivando quindi, superati certi limiti, a plasticizzazione)

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 55 di 88
---	----------------------	---------------

- **verifica al carico limite del complesso paratia-terreno** nei riguardi dei **carichi verticali** di compressione e trazione
- **verifica di stabilità globale**
- possibilità di inserire **forze e coppie concentrate** che agiscono sulla paratia
- gestione dei **tiranti attivi** (con tiro iniziale)
- possibilità di considerare **spostamenti impressi alla paratia** (ad esempio spostamento fissato in testa alla paratia), in particolare nulli (es. vincolo in testa alla paratia)
- ulteriori tipi di sezione palancole in acciaio (**a doppio T, a T, a T rovescia, Tubolare a sez. circolare, Tubolare a sez. rettangolare**), con dati della sezione calcolati in automatico dal software (area, momenti di inerzia e moduli di resistenza ...)
- miglioramenti nei grafici di output

Versione 8.0

- nuovo input specifico per le **paratie di micropali**
- **disegni** pianta, prospetto e sezione **maggiormente definiti**
- **disegni esecutivi c.a. maggiormente definiti** e anche **in dxf**
- **cordolo di testa in c.a.**
- **cordoli o travi di contrasto in c.a. o in acciaio in corrispondenza dei tiranti**
- **calcolo automatico della classe delle sezioni metalliche** (tubolari e a doppio T)
- calcolo dei **coefficienti di reazione orizzontale** del sottosuolo mediante la **formula di Bowles**

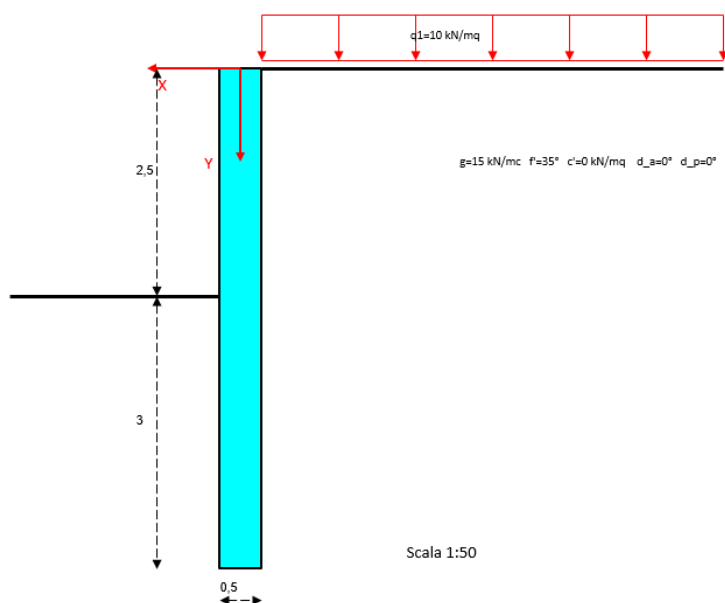
Versione 9.0

- implementazione della **formulazione di Lancellotta** per il calcolo dei coefficienti di spinta in condizioni drenate
- coesistenza di terreni in condizioni non drenate e in condizioni drenate (ad. esempio terreno a grana grossa che poggia su terreno di argilloso saturo)
- introduzione **grado di sovraconsolidazione OCR** dei terreni
- possibilità di imputare direttamente i **coefficienti sismici**
- introduzione delle **Forme di carico** e calcolo automatico della **Combinazioni di carico**
- **carichi distribuiti sulla paratia**
- **analisi per fasi di scavo** (analisi incrementale)
- implementazione **puntoni**
- **verifiche agli SLE** (spostamenti, fessurazione, tensioni di esercizio)
- **computo metrico** dei materiali

APPENDICE 4 – ESEMPI SVOLTI

Vedremo ora alcuni esempi al fine di dare ulteriori indicazioni sull'uso del software.

1) VERIFICA PARATIA A SBALZO IN TERRENO OMOGENEO CON SOVRACCARICO PERMANENTE – DM 11/03/1988



Verificare se la profondità di infissione del diaframma indicato in figura è sufficiente ($H=2,5$ m; $D=3,0$ m; $L=5,5$ m) per la stabilità secondo le norme del D.M. 11/03/1988. Si assuma:

- terreno omogeneo ($N_{str}=1$)
- assenza di falda (condizioni drenate)
- assenza di sisma
- peso dell'unità di volume del terreno = 15 kN/m^3

- angolo di resistenza al taglio terreno = 35°
- coesione drenata $c' = 0 \text{ kN/m}^2$
- angolo di attrito paratia-terrapieno = 0°
- sovraccarico permanente sul terrapieno di monte $g_1 = 10 \text{ kN/m}^2$
- coefficiente di sicurezza alla rotazione rigida $\gamma_{Rot} = 1,4$
- metodo di calcolo delle spinte: teoria di Coulomb generalizzata

Non essendo interessati alle verifiche strutturali scegliamo il materiale generico avente $E=20.000 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{mat}=20 \text{ kN/m}^3$ e la sezione rettangolare in pianta per la paratia (momento di inerzia pari $I_y=1/12 \times 1 \times 0,5^3=0,010417 \text{ m}^4$). Essendo presente un solo carico esterno di tipo pementente, basta definire una sola Forma di carico che identifichiamo con G1 (di tipo "sfavorevole" alla sicurezza).

I principali risultati forniti dal software con il calcolo LEM (metodo classici dell'equilibrio limite) sono i seguenti (una sola combinazione di carico):

VERIFICA ALLA ROTAZIONE INTORNO A UN PUNTO DELL'OPERA (atto di moto rigido)

Sovraccarichi di progetto sui terrapieni

Terreno di monte, $q1d=10,00 \text{ kN/mq}$

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

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=15,00 \text{ kN/mc}$

Paratie.Az 9.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Manuale d'uso	Pag. 57 di 88
--	----------------------	---------------

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d}=35$ (°)

coesione drenata, $c'_{d}=0,00$ kN/mq

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $\Delta_{ad}=0$ (°)

angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $\Delta_{pd}=0$ (°)

Coefficienti di spinta

strato 1

Coefficiente di spinta attiva lato monte, $K_a=0,27099$

Coefficiente di spinta a riposo lato monte, $K_o=0,426424$

Coefficiente di spinta passiva lato monte, $K_p=3,690172$

Coefficiente di spinta attiva lato valle, $K_a=0,27099$

Coefficiente di spinta a riposo lato valle, $K_o=0,426424$

Coefficiente di spinta passiva lato valle, $K_p=3,690172$

Profondità punto di rotazione e profondità di infissione o coefficiente di sicurezza

Profondità punto di rotazione, $D_r=2,689$ m

Coefficiente di sicurezza, $E_t=1,485$

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

Spinta di monte, $S_m=138,43$ kN/m

Spinta di valle, $S_v=138,39$ kN/m

braccio della spinta di monte risp. all'estremo inferiore paratia, $d_m=1,179$ m

braccio della spinta di valle risp. all'estremo inferiore paratia, $d_v=1,18$ m

Esito verifica

Verifica soddisfatta (essendo $E_t \geq g_{Rot}$)

La profondità di infissione fissata è dunque sufficiente. Di seguito si riportano alcuni grafici restituiti dal software.

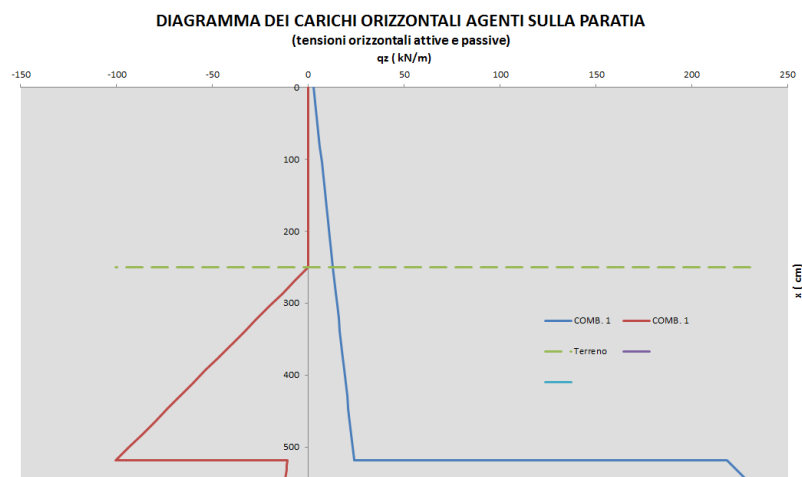


DIAGRAMMA DEL TAGLIO $T_z(x)$ LUNGO LA PARATIA

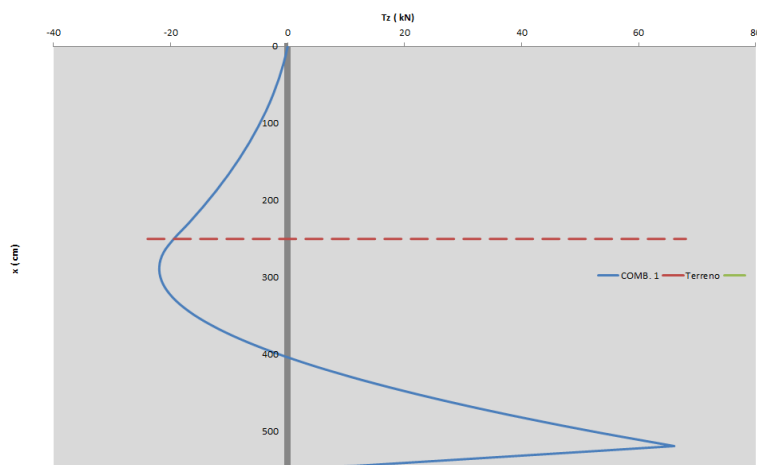
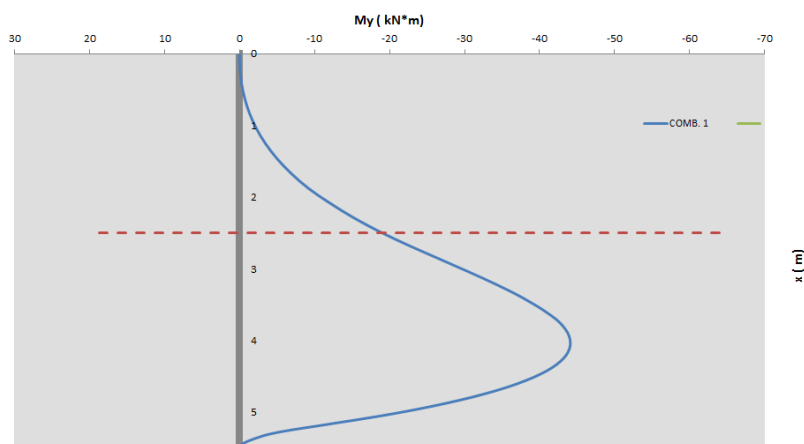


DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE $M_y(x)$ LUNGO LA PARATIA



2) CALCOLO PROFONDITA' DI INFISSIONE PARATIA A SBALZO SU TERRENO OMOGENEO – DM 11/03/1988

Calcolare la profondità di infissione di una paratia (diaframma in c.a.) a sbalzo (senza ancoraggio), ai sensi del D.M. 11/03/1988, con i seguenti dati di progetto:

- terreno omogeneo
- assenza di falda (condizioni drenate) e assenza di sisma
- altezza H di scavo = 3,0 m
- altezza paratia pari a quella del terrapieno a monte ($H_1=0$ m)
- profili dei terreni a monte e a valle orizzontali
- peso dell'unità di volume del terreno = 15 kN/m^3
- angolo di resistenza al taglio = 30°
- coesione drenata = 0 kN/m^2
- angolo di attrito paratia-terrapieno = 0°
- sovraccarico permanente a monte, $p=10 \text{ kN/m}^2$

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 59 di 88
---	----------------------	---------------

- coefficiente di sicurezza $\gamma_{\text{Rot}} = 1,5$
- metodo di calcolo delle spinte: teoria di Coulomb generalizzata

Essendo presente un solo carico esterno di tipo pementente, basta definire una sola Forma di carico che identifichiamo con G1 (di tipo “sfavorevole” alla sicurezza).

I principali risultati forniti dal software con il calcolo LEM (metodi classici dell’equilibrio limite) sono i seguenti (una sola combinazione di carico):

Coefficienti di spinta

Coefficiente di spinta attiva, $K_a = 0,333333$

Coefficiente di spinta passiva, $K_p = 3$

Coefficiente di spinta passiva abbattuto dal coefficiente di sicurezza, $K_{pr} = K_p / \gamma_{\text{Rot}} = 2$

Profondità punto di rotazione e coeff. sicurezza o profondità di infissione

Profondità punto di rotazione, $D_r = 4,193 \text{ m}$

Profondità di infissione, $D = 4,692 \text{ m}$

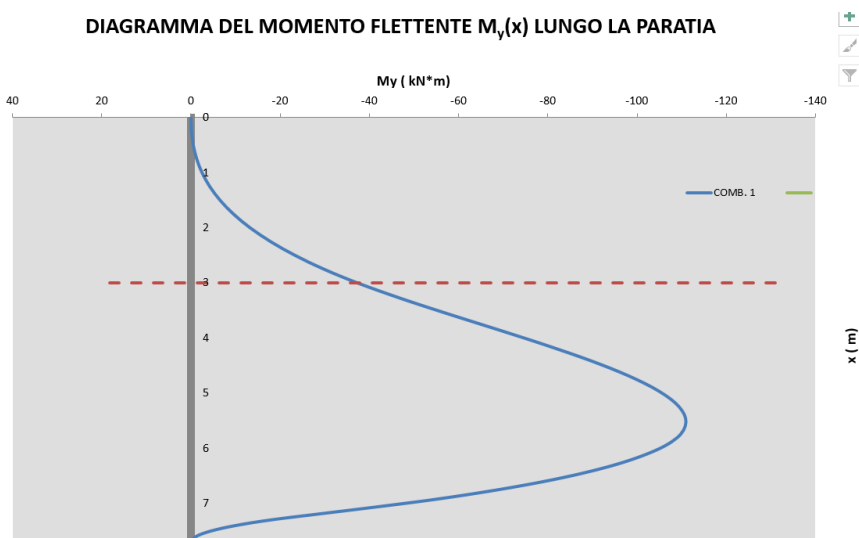
Spinte di monte e di valle (orizzontali) agenti sulla paratia

Spinta di monte, $S_m = 274,76 \text{ kN/m}$

Spinta di valle, $S_v = 274,77 \text{ kN/m}$

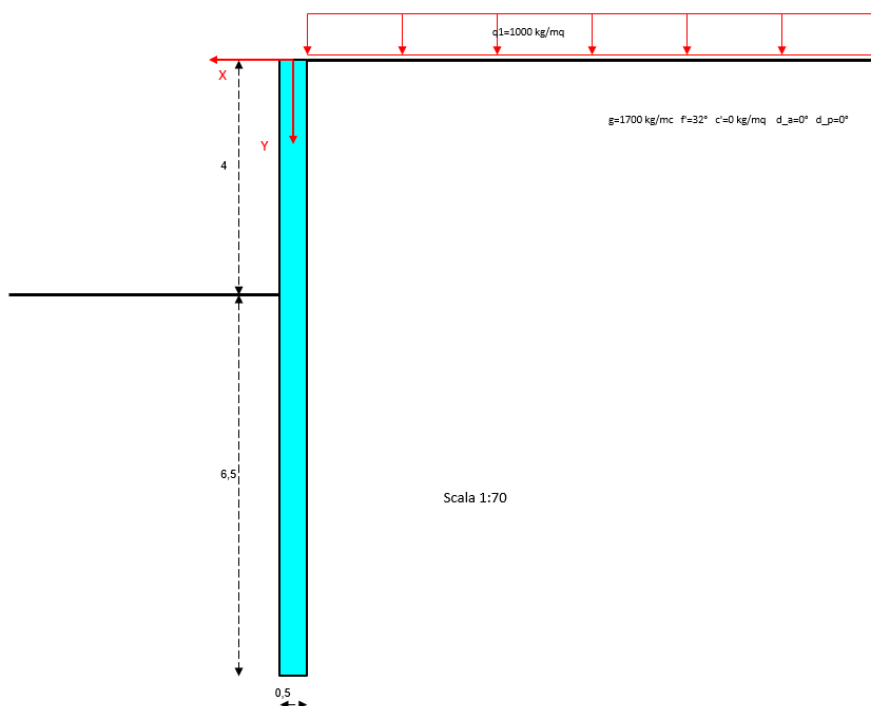
braccio della spinta di monte risp. all'estremo inferiore paratia, $d_m = 1,83 \text{ m}$

braccio della spinta di valle risp. all'estremo inferiore paratia, $d_v = 1,83 \text{ m}$



3) VERIFICA PARATIA A SBALZO CON SOVRACCARICO ACCIDENTALE – DM 17/01/2018

Verificare se la profondità di infissione della paratia indicata in figura ($H=4$ m; $D=6,5$ m; $L=10,5$ m) è sufficiente per la stabilità secondo le norme del D.M. 17/01/2018. Si assuma:



- sistema tecnico per le unità di misura
- terreno

omogeneo

- assenza di falda (condizioni drenate) e di sisma
- peso dell'unità di volume del terreno = 1.700 kg/m^3
- angolo di resistenza al taglio del terreno = 32°
- coesione drenata = 0
- angolo di attrito paratia-terrapieno = 0°
- OCR=1
- sovraccarico accidentale $q=1.000 \text{ kg/m}^2$
- metodo di calcolo delle spinte: teoria di Coulomb generalizzata

Scegliamo il materiale generico con sezione rettangolare della paratia ($I_y=1/12 \times 1 \times 0,5^3=0,010417 \text{ m}^4$, $E=200.000 \text{ kg/cm}^2$, $\gamma_{\text{mat}}=2.000 \text{ kg/m}^3$). Essendo presente un solo carico esterno di tipo accidentale, basta definire una sola Forma di carico che identifichiamo con Q1.

I principali risultati forniti dal software con il calcolo LEM (metodi classici dell'equilibrio limite) sono i seguenti (vengono create dal software due combinazioni di carico):

COMB. 1 (SLU-F)

VERIFICA ALLA ROTAZIONE INTORNO A UN PUNTO DELL'OPERA (atto di moto rigido)

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 61 di 88
---	----------------------	---------------

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=1.700,00$ kg/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=26,56$ (°)

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

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

Coefficienti di spinta

strato 1

Coefficiente di spinta attiva lato monte, $Ka=0,382037$

Coefficiente di spinta passiva lato monte, $Kp=2,617545$

Coefficiente di spinta attiva lato valle, $Ka=0,382037$

Coefficiente di spinta passiva lato valle, $Kp=2,617545$

Profondità punto di rotazione e profondità di infissione o coefficiente di sicurezza

Profondità punto di rotazione, $Dr=5,796$ m

Coefficiente di sicurezza, $Eta=1,515$

Punti caratteristici e tensioni a monte della paratia

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf
1	0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	9,80	1	16.653,35	0,00	6.362,20	28.765,30
3	10,50	1	17.850,00	0,00	30.832,27	0,00

Punti caratteristici e tensioni a valle della paratia

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf
11	4,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
12	9,80	1	9.853,35	0,00	17.019,68	3.764,35
13	10,50	1	11.050,00	0,00	4.221,51	0,00

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

Spinta di monte, $Sm=52.138,00$ kg/m

Spinta di valle, $Sv=52.134,46$ kg/m

braccio della spinta di monte risp. all'estremo inferiore paratia, $dm=2,512$ m

braccio della spinta di valle risp. all'estremo inferiore paratia, $dv=2,512$ m

Esito verifica

Verifica soddisfatta (essendo $Eta \geq gRot$)

COMB. 2 (SLU-F)

VERIFICA ALLA ROTAZIONE INTORNO A UN PUNTO DELL'OPERA (atto di moto rigido)

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=1.700,00$ kg/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=26,56$ (°)

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

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

Coefficienti di spinta

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 62 di 88
---	----------------------	---------------

strato 1

Coefficiente di spinta attiva lato monte, $K_a=0,382037$

Coefficiente di spinta passiva lato monte, $K_p=2,617545$

Coefficiente di spinta attiva lato valle, $K_a=0,382037$

Coefficiente di spinta passiva lato valle, $K_p=2,617545$

Profondità punto di rotazione e profondità di infissione o coefficiente di sicurezza

Profondità punto di rotazione, $D_r=5,805$ m

Coefficiente di sicurezza, $E_t=1,237$

Punti caratteristici e tensioni a monte della paratia

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf
1	0,00	1	1.300,00	0,00	496,65	0,00
2	9,80	1	17.968,19	0,00	6.864,52	38.027,40
3	10,50	1	19.150,00	0,00	40.528,56	0,00

Punti caratteristici e tensioni a valle della paratia

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf
11	4,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
12	9,80	1	9.868,19	0,00	20.884,78	3.770,02
13	10,50	1	11.050,00	0,00	4.221,51	0,00

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

Spinta di monte, $S_m=63.392,83$ kg/m

Spinta di valle, $S_v=63.393,95$ kg/m

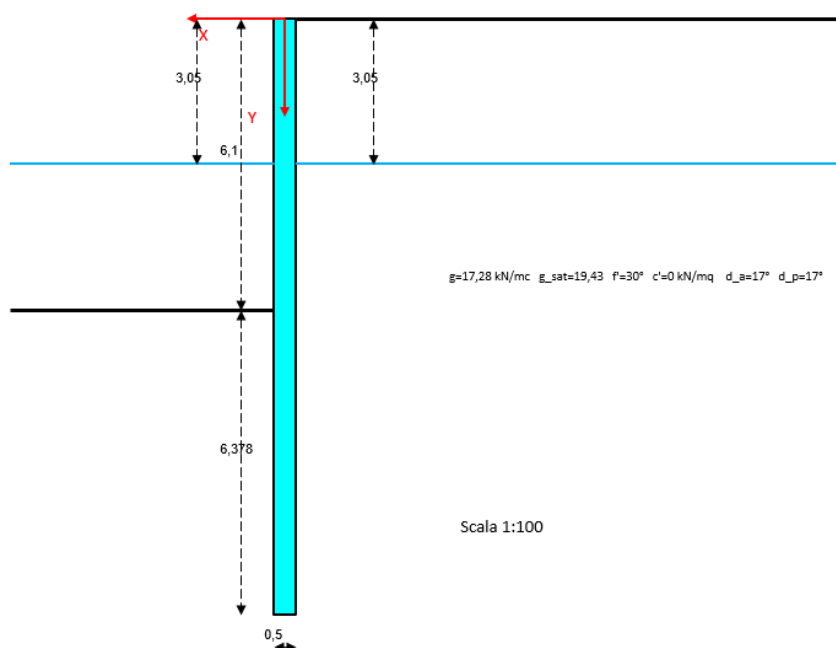
braccio della spinta di monte risp. all'estremo inferiore paratia, $d_m=2,53$ m

braccio della spinta di valle risp. all'estremo inferiore paratia, $d_v=2,53$ m

Esito verifica

Verifica soddisfatta (essendo $E_t \geq g_{Rot}$)

4) CALCOLO PROFONDITA' DI INFISSIONE IN TERRENO OMOGENEO INCOERENTE IN PRESENZA DI FALDA – DM 11/03/1988



Calcolare la profondità di infissione di un diaframma in c.a. (C25/30) a sbalzo, ai sensi del D.M. 11/03/1988, con i seguenti dati di progetto:

- terreno omogeneo

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 63 di 88
---	----------------------	---------------

- assenza di sisma
- altezza H di scavo = 6,1 m
- presenza di falda in quiete sia a monte che a valle a profondità $z_{wm}=z_{wv}=3,05$ m (condizioni drenate)
- peso dell'unità di volume del terreno = $17,28 \text{ kN/m}^3$
- peso dell'unità di volume del terreno saturo = $19,43 \text{ kN/m}^3$
- angolo di resistenza al taglio = 30°
- coesione drenata = 0 kN/m^2
- angolo di attrito paratia-terrapieno, sia lato attivo che lato passivo $\delta_a=\delta_p=17^\circ$
- OCR=1
- coefficiente di sicurezza $\gamma_{Rot}=1,2$
- peso dell'unità di volume dell'acqua = $10,00 \text{ kN/m}^3$
- metodo di calcolo delle spinte: teoria di Coulomb generalizzata

Non essendo presenti carichi esterni occorre definire una Forma di carico di tipo permanente "sfavorevole alla sicurezza" che identifichiamo con G, per simulare la spinta dei terreni.

I principali risultati forniti dal software con il calcolo LEM (metodi classici dell'equilibrio limite) sono i seguenti (viene creata una sola combinazione di carico):

COMB. 1 (SLU-F)

Coefficienti di spinta

strato 1

Coefficiente di spinta attiva lato monte, $K_a=0,299439$

Coefficiente di spinta a riposo lato monte, $K_o=0,5$

Coefficiente di spinta passiva lato monte, $K_p=5,385015$

Coefficiente di spinta attiva lato valle, $K_a=0,299439$

Coefficiente di spinta a riposo lato valle, $K_o=0,5$

Coefficiente di spinta passiva lato valle, $K_p=5,385015$

Coefficiente di spinta passiva, lato monte, abbattuto dal coefficiente di sicurezza $K_{pr}=K_p/g_{Rot}=4,487513$

Coefficiente di spinta passiva, lato valle, abbattuto dal coefficiente di sicurezza $K_{pr}=K_p/g_{Rot}=4,487513$

Profondità punto di rotazione e profondità di infissione o coefficiente di sicurezza

Profondità punto di rotazione, $D_r=5,057$ m

Profondità di infissione paratia, $D=5,572$ m

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

Spinta di monte, $S_m=896,68 \text{ kN/m}$

Spinta di valle, $S_v=896,64 \text{ kN/m}$

braccio della spinta di monte risp. all'estremo inferiore paratia, $d_m=2,464$ m

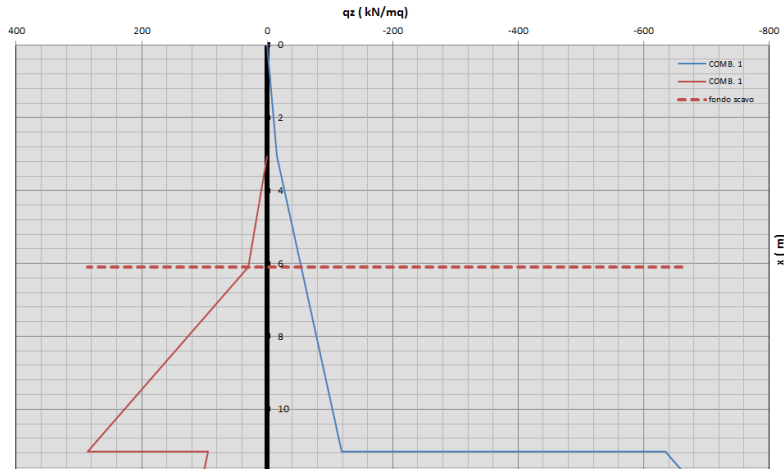
braccio della spinta di valle risp. all'estremo inferiore paratia, $d_v=2,464$ m

PROFONDITA' DI INFISSIONE DI PROGETTO

$D = 5,572$ m

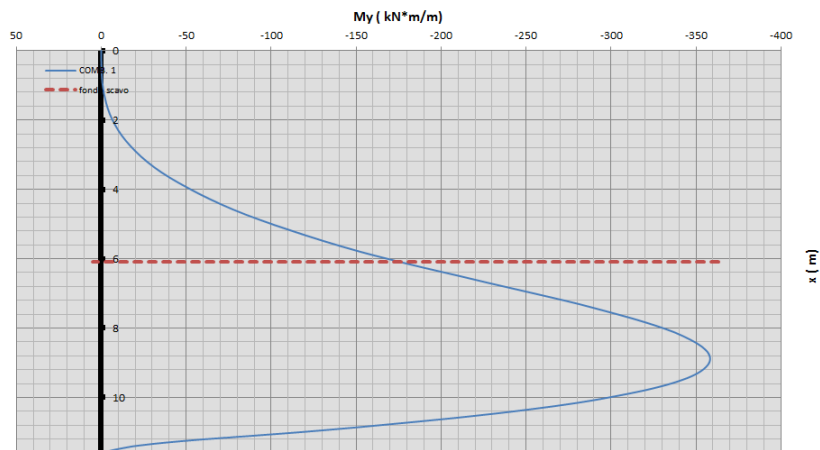
In assenza di falda la profondità di infissione, a parità degli altri dati di progetto, è pari a 4,4 m. Questo testimonia, come noto, che la presenza di falda peggiora le condizioni di stabilità delle opere di sostegno.

CARICHI ESTERNI ORIZZONTALI AGENTI SULLA PARATIA



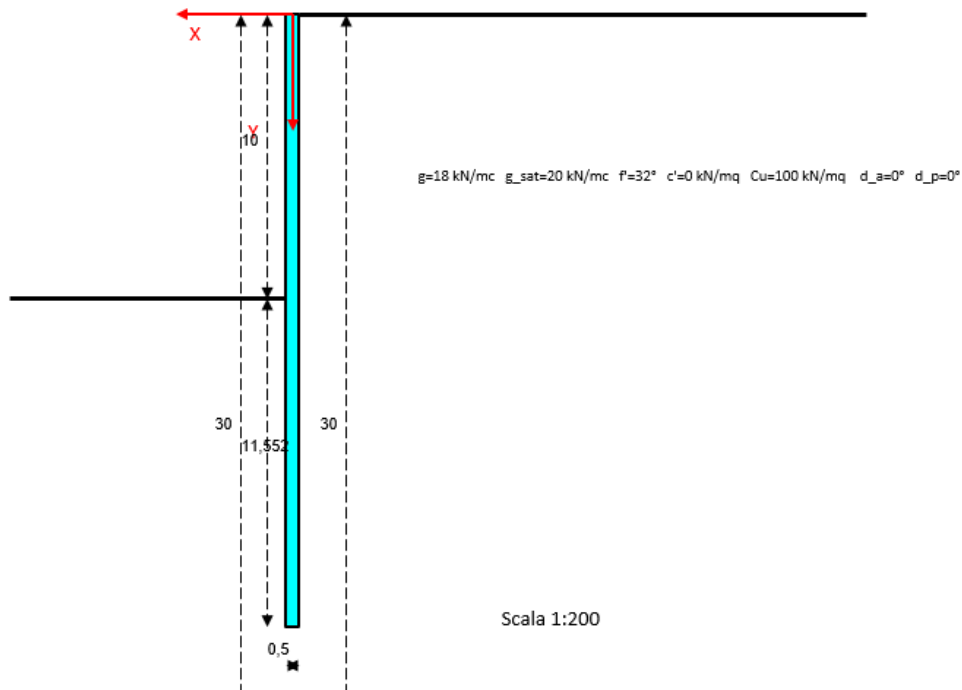
Da notare nel diagramma delle pressioni orizzontali che agiscono sulla paratia il cambio di pendenza in corrispondenza del pelo libero della falda.

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



Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 65 di 88
---	----------------------	---------------

5) CALCOLO PROFONDITA' DI INFISSIONE IN TERRENO OMOGENEO COERENTE – DM 11/03/1988



Calcolare la profondità di infissione di una paratia a sbalzo in materiale generico, ai sensi del D.M. 11/03/1988, con i seguenti dati di progetto:

- terreno omogeneo a grana fina (argilla) (presenza di falda in quiete, condizioni non drenate)
- assenza di sisma
- altezza H di scavo = 10 m
- peso dell'unità di volume del terreno = 18 kN/m^3
- peso dell'unità di volume del terreno saturo = 20 kN/m^3
- coesione non drenata $c_u=100 \text{ kPa}$
- coesione drenata = 0 kN/m^2
- angolo di resistenza al taglio drenato = 32°
- angolo di attrito paratia-terrapieno $\delta_a=\delta_p=0^\circ$
- OCR=1
- Condizione a breve termine: non drenata
- Materiale generico ($E=20.000 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_{\text{mat}}=20 \text{ kN/m}^3$) e sezione rettangolare della paratia ($I_y=1/12 \times 1 \times 0,5^3=0,010417 \text{ m}^4$)
- coefficiente di sicurezza $\gamma_{\text{Rot}}=1,5$
- metodo di calcolo delle spinte: teoria di Coulomb generalizzata

Non essendo presenti carichi esterni occorre definire una Forma di carico di tipo permanente "sfavorevole alla sicurezza" che identifichiamo con G , per simulare la spinta dei terreni.

I principali risultati forniti dal software sono i seguenti (calcolo LEM).

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 66 di 88
---	----------------------	---------------

COMB. 1 (SLU-F)

Verifica a breve termine in condizioni non drenate

VERIFICA ALLA ROTAZIONE INTORNO A UN PUNTO DELL'OPERA (atto di moto rigido)

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=18,00$ kN/mc

peso dell'unità di volume saturo, $g_{sat}=20,00$ kN/mc

coesione non drenata, $Cu_d=Cu/gcu=66,67$ kN/mq

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

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

Profondità punto di rotazione e profondità di infissione o coefficiente di sicurezza

Profondità punto di rotazione, $Dr=4,815$ m

Profondità di infissione paratia, $D=5,288$ m

Verifica a lungo termine in condizioni drenate

VERIFICA ALLA ROTAZIONE INTORNO A UN PUNTO DELL'OPERA (atto di moto rigido)

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=18,00$ kN/mc

peso dell'unità di volume saturo, $g_{sat}=20,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=32$ (°)

coesione drenata, $c'_d=0,00$ kN/mq

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

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

Coefficienti di spinta

strato 1

Coefficiente di spinta attiva lato monte, $Ka=0,307259$

Coefficiente di spinta a riposo lato monte, $Ko=0,470081$

Coefficiente di spinta passiva lato monte, $Kp=3,254588$

Coefficiente di spinta attiva lato valle, $Ka=0,307259$

Coefficiente di spinta a riposo lato valle, $Ko=0,470081$

Coefficiente di spinta passiva lato valle, $Kp=3,254588$

Coefficiente di spinta passiva, lato monte, abbattuto dal coefficiente di sicurezza $Kpr=Kp/gRot=2,169726$

Coefficiente di spinta passiva, lato valle, abbattuto dal coefficiente di sicurezza $Kpr=Kp/gRot=2,169726$

Profondità punto di rotazione e profondità di infissione o coefficiente di sicurezza

Profondità punto di rotazione, $Dr=10,315$ m

Profondità di infissione paratia, $D=11,552$ m

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

Spinta di monte, $Sm=2.152,44$ kN/m

Spinta di valle, $Sv=2.152,45$ kN/m

braccio della spinta di monte risp. all'estremo inferiore paratia, $dm=4,534$ m

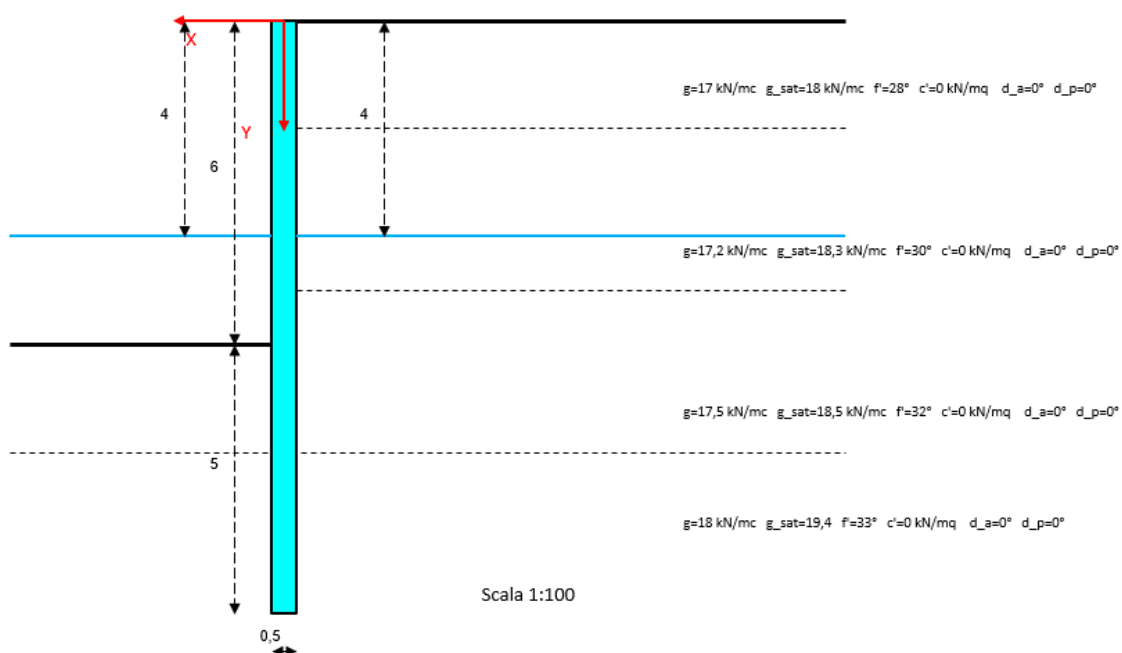
braccio della spinta di valle risp. all'estremo inferiore paratia, $dv=4,534$ m

Per la verifica a lungo termine in condizioni drenate si è considerata l'assenza di falda (sono stati impostati a $z=30$ m i livelli di falda a monte e a valle). Se avessimo voluto

considerare la presenza di falda occorre inserire le quote dei peli liberi della falda (per il terreno saturo occorre impostare $z_{wm}=0$, $z_{wv}=H$).

Come si può notare le condizioni più gravose sono quelle a lungo termine (verifica in condizioni drenate).

6) VERIFICA PROFONDITA' DI INFISSIONE PARATIA A SBALZO IN TERRENI A GRANA GROSSA STRATIFICATI IN PRESENZA DI FALDA – NTC 2018



Verificare la profondità di infissione di una paratia a sbalzo, ai sensi delle NTC 2018, con i seguenti dati di progetto:

- assenza di sisma
- altezza H di scavo = 6 m
- altezza complessiva paratia = 11 m (profondità di infissione = 5 m)
- posizione falda a monte e a valle $z_{wm} = z_{wv} = 4$ m
- terreno stratificato (4 strati) in condizioni drenate:

strato	posizione z_t (m)	γ kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	ϕ' (°)	c' kN/m ²	δ_a (°)	δ_p (°)	OCR
1	2	17	18	28	0	0	0	1
2	5	17,2	18,3	30	0	0	0	1
3	8	17,5	18,5	32	0	0	0	1
4		18	19,4	33	0	0	0	1

- materiale generico
- peso dell'unità di volume dell'acqua = 9,81 kN/m³
- metodo di calcolo delle spinte: teoria di Coulomb generalizzata

I principali risultati forniti dal software (calcolo LEM) sono i seguenti (verifiche alla rotazione non soddisfatta).

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 68 di 88
---	----------------------	---------------

Profondità punto di rotazione e profondità di infissione o coefficiente di sicurezza

Profondità punto di rotazione, $Dr=4,531$ m

Coefficiente di sicurezza, $Eta=0,422$

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	
ss	2,00	1	34,00	0,00	14,87	13,91
w	4,00	2	68,40	0,00	27,98	
ss	5,00	2	86,70	9,81	41,27	39,18
ss	8,00	3	142,20	39,24	78,57	77,22
2	10,53	4	191,29	64,06	111,00	881,29
3	11,00	4	200,40	68,67	914,82	

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	2	0,00	0,00	0,00	
11	6,00	3	22,82	19,62	39,47	
ss	8,00	3	59,82	39,24	166,89	171,43
12	10,53	4	108,91	64,06	352,14	80,61
13	11,00	4	118,02	68,67	86,88	

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

Spinta di monte, $Sm=927,79$ kN/m

Spinta di valle, $Sv=927,75$ kN/m

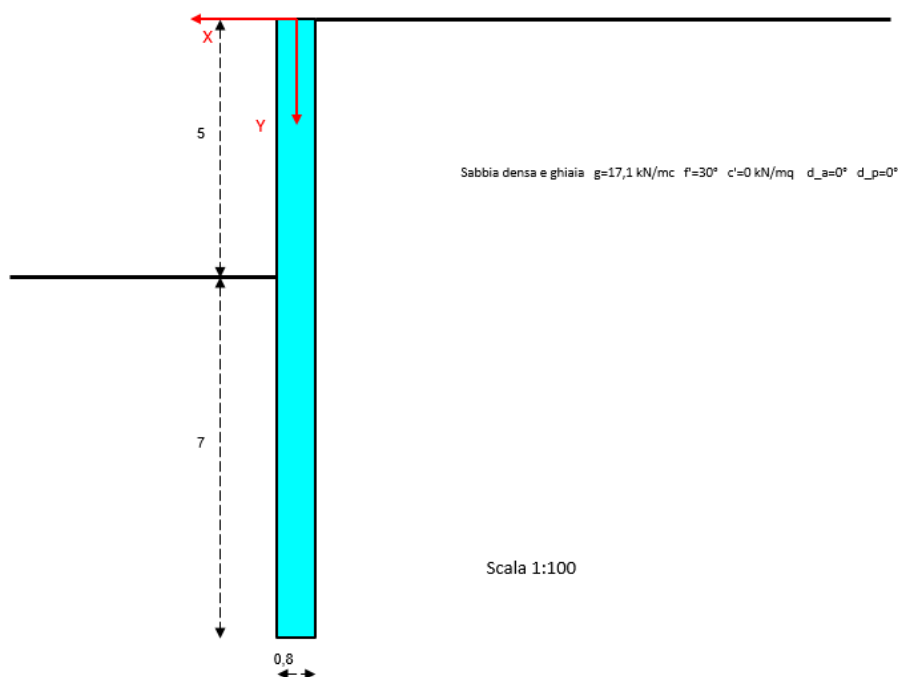
braccio della spinta di monte rispetto all'estremo inferiore paratia, $dm=2,109$ m

braccio della spinta di valle rispetto all'estremo inferiore paratia, $dv=2,108$ m

Esito verifica alla rotazione

Attenzione: non verifica (essendo $Eta < gRot$)!!!

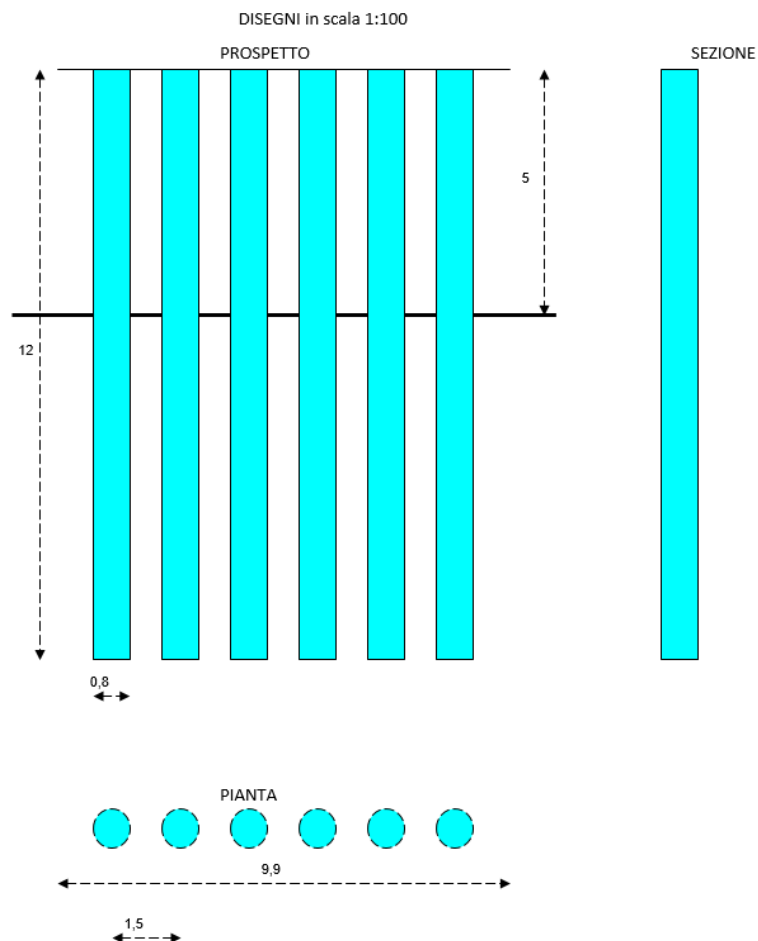
7) CALCOLO STRUTTURALE E GEOTECNICO DI UNA PARATIA DI PALI IN C.A. – NTC 2018



Si considera un caso pratico e completo di calcolo di verifica secondo le NTC 2018 di una paratia di pali in c.a. posti lungo una fila con una profondità di infissione di 7 m e una altezza di terrapieno da sostenere di 5 m (altezza totale paratia $L=12 \text{ m}$). Non si mette in conto l'azione sismica.

Il diametro dei pali si fissa in 0,8 m e il loro interasse in 1,5 m. Il terreno è omogeneo ed asciutto ed ha le seguenti caratteristiche geotecniche (sabbia densa e ghiaia):

- peso dell'unità di volume = $17,10 \text{ kN/m}^3$
- angolo di resistenza al taglio = 30°
- coesione drenata = 0 kN/m^2



Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 70 di 88
---	----------------------	---------------

- angolo di attrito paratia-terrapieno, sia lato attivo che passivo $\delta_a=\delta_p=0^\circ$
- OCR=1
- peso dell'unità di volume dell'acqua = 10,00 kN/m³
- metodo di calcolo delle spinte: teoria di Coulomb generalizzata

Il calcestruzzo impiegato ha classe C20/25 e l'acciaio è B450C. Per l'armatura longitudinale si adotta il diametro 16 mm, mentre per l'armatura a taglio (staffe a spirale, angolo teta=45°) il diametro 8 mm. Il copriferro si assume pari a 3 cm.

I principali risultati forniti dal software sono i seguenti (calcolo LEM).

COMB. 1 (SLU-F)

VERIFICA ALLA ROTAZIONE INTORNO A UN PUNTO DELL'OPERA (atto di moto rigido)

Parametri geotecnici di progetto

strato 1

peso dell'unità di volume, $g=17,10$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio, $F_{i,d}=24,79$ (°)

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

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

Coefficienti di spinta

strato 1

Coefficiente di spinta attiva lato monte, $K_a=0,409132$

Coefficiente di spinta passiva lato monte, $K_p=2,444202$

Coefficiente di spinta attiva lato valle, $K_a=0,409132$

Coefficiente di spinta passiva lato valle, $K_p=2,444202$

Profondità punto di rotazione e profondità di infissione o coefficiente di sicurezza

Profondità punto di rotazione, $Dr=6,244$ m

Coefficiente di sicurezza, $Eta=1,099$

Punti caratteristici e tensioni a monte della paratia

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf
1	0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	11,24	1	192,27	0,00	78,66	427,71
3	12,00	1	205,20	0,00	456,47	0,00

Punti caratteristici e tensioni a valle della paratia

tipo punto	z (m)	strato	sv	u	sa/sp/s_sup	s_inf
11	5,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
12	11,24	1	106,77	0,00	237,51	43,68
13	12,00	1	119,70	0,00	48,97	0,00

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

Spinta di monte, $S_m=776,52$ kN/m

Spinta di valle, $S_v=776,52$ kN/m

braccio della spinta di monte risp. all'estremo inferiore paratia, $dm=2,726$ m

braccio della spinta di valle risp. all'estremo inferiore paratia, $dv=2,726$ m

Esito verifica

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 71 di 88
---	----------------------	---------------

Verifica soddisfatta (essendo $E_{ta} \geq g_{Rot}$)

Armatura longitudinale a presso-flessione

armatura = 33 fi 16 (66,35 cmq)

ARMATURA TRAVERSALE A TAGLIO NEI PALI IN C.A.

L'armatura a taglio è costituita da staffe circolari singole o spirale di dato diametro di cui si calcola il passo
passo max della spirale/staffe prescritto dalla normativa (armatura trasv. minima regolam.re) $t_c = 16,8$ cm

lunghezza tratto parte superiore della paratia da armare a taglio $L_i = 120$ cm

lunghezza tratto parte inferiore della paratia da armare a taglio $L_k = 0$ cm

lunghezza rimanente parte della paratia dove disporre l'armatura minima regolamentare $L_c = 1080$ cm

Resistenza al taglio dovuta al solo cls $T_{cls} = 305,77$ kN

Resistenza di progetto a "taglio compressione" $V_{rcd} = 4.288,46$ kN

Tratto L_i paratia da armare a taglio

Taglio massimo nel tratto $T_{maxi} = 522,98$ kN

il tratto va dalla ascissa $x=1040$ cm all'ascissa $x=1160$ cm

passo spirale/staffe nel tratto $t_i = 5,2$ cm

Resistenza di progetto a "taglio trazione" dell'armatura trasversale $V_{rsd_i} = 522,98$ kN

Resistenza di progetto a taglio $V_{rd_i} = 522,98$ kN

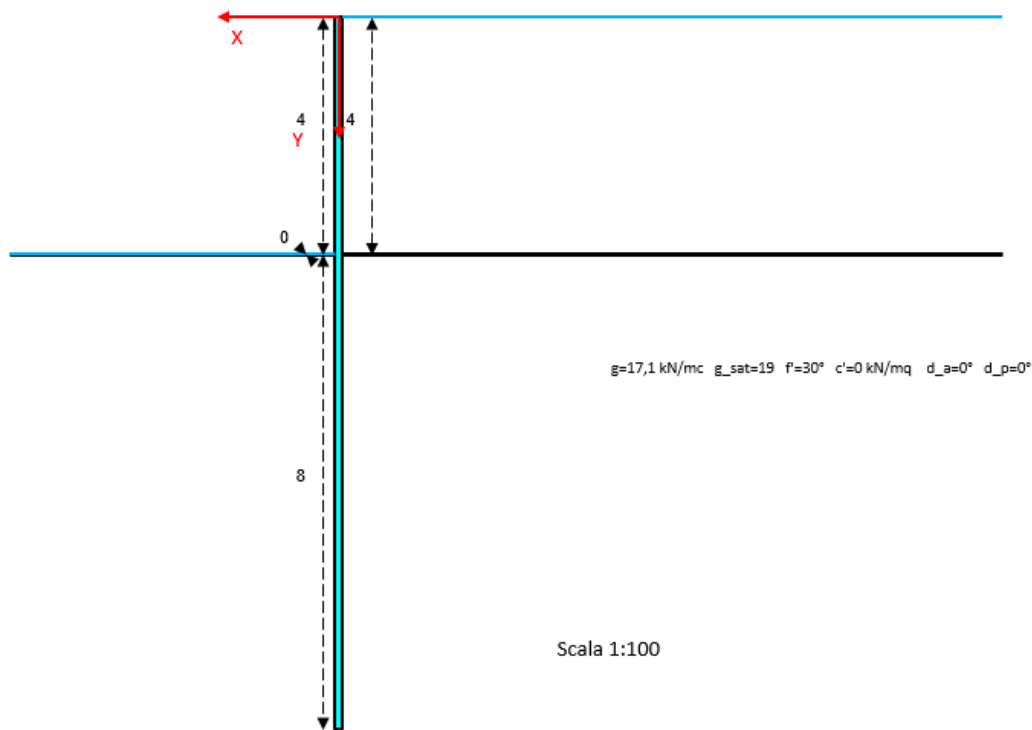
Tratto della paratia con armatura minima regolamentare

passo spirale/staffe $t_c = 16,8$ cm

Resistenza di progetto a "taglio trazione" dell'armatura trasversale $V_{rsd_c} = 161,01$ kN

Resistenza di progetto a taglio $V_{rd_c} = 161,01$ kN

8) CALCOLO STRUTTURALE E GEOTECNICO DI UNA PALANCOLA IN ACCIAIO – NTC 2018



Si considera un caso pratico e completo di calcolo di verifica secondo le NTC 2018 di una palanca in acciaio (profilo Larssen L600, classe sezione 3) con una profondità di infissione di 8 m, una altezza di acqua da sostenere di 4 m ($H_1=4$ m, altezza di scavo $H=0$, $z_{wm}=-4$ m, $z_{wv}=0$) e una lunghezza lungo Z di 10 m. Non si mette in conto l'azione sismica.

Il terreno in cui è infissa la palanca è omogeneo ed ha le seguenti caratteristiche geotecniche:

- peso dell'unità di volume = 17,10 kN/m³
- peso dell'unità di volume saturo = 19,00 kN/m³
- angolo di resistenza al taglio drenato = 30°
- coesione drenata = 0 kN/m²
- angolo di attrito paratia-terrapieno, sia lato attivo che passivo $\delta_a=\delta_p=0^\circ$
- OCR=1
- peso dell'unità di volume dell'acqua = 10,00 kN/m³
- metodo di calcolo delle spinte: teoria di Coulomb generalizzata

Per l'acciaio si considera il tipo S 420.

I principali risultati forniti dal software sono i seguenti (calcolo LEM).

COMB. 1 (SLU-F)

VERIFICA ALLA ROTAZIONE INTORNO A UN PUNTO DELL'OPERA (atto di moto rigido)

Parametri geotecnici di progetto
strato 1

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 73 di 88
---	----------------------	---------------

peso dell'unità di volume, $g=17,10$ kN/mc
 angolo di resistenza al taglio, $Fi_d=24,79$ (°)
 angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta attiva), $Delt_{ad}=0$ (°)
 angolo di attrito terreno-paratia (lato spinta passiva), $Delt_{pd}=0$ (°)

Coefficienti di spinta

strato 1

Coefficiente di spinta attiva lato monte, $Ka=0,409132$
 Coefficiente di spinta passiva lato monte, $Kp=2,444202$
 Coefficiente di spinta attiva lato valle, $Ka=0,409132$
 Coefficiente di spinta passiva lato valle, $Kp=2,444202$

Profondità punto di rotazione e profondità di infissione o coefficiente di sicurezza

Profondità punto di rotazione, $Dr=6,853$ m
 Coefficiente di sicurezza, $Eta=0,723$

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
w	-4,00	0	0,00	0,00	0,00	
1	0,00	1	40,00	40,00	40,00	
2	6,85	1	170,22	108,53	133,77	316,95
3	8,00	1	192,00	120,00	363,28	

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
11	0,00	1	0,00	0,00	0,00	
w	0,00	1	0,00	0,00	0,00	
12	6,85	1	130,22	68,53	276,95	93,77
13	8,00	1	152,00	80,00	109,46	

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

Spinta di monte, $Sm=1.065,55$ kN/m
 Spinta di valle, $Sv=1.065,53$ kN/m
 braccio della spinta di monte risp. all'estremo inferiore paratia, $dm=3,117$ m
 braccio della spinta di valle risp. all'estremo inferiore paratia, $dv=3,117$ m

Esito verifica

Attenzione: non verifica (essendo $Eta < gRot$)!!!

VERIFICHE STRUTTURALI PARATIA

Verifiche di resistenza a presso-flessione e taglio

sid_m : tensione ideale massima nella sezione di acciaio (N/mm²)
 Mcy_{Rd} : resistenza di progetto della sezione soggetta a presso-flessione retta (asse vettore y)
 Resistenza plastica della sezione lorda A $Npl_{Rd}=4.800,00$ kN
 Area resistente al taglio della sezione lungo z $Avz=26,70$ cm²

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 74 di 88
---	----------------------	---------------

Resistenza di progetto a taglio lungo z $V_{cz_Rd}=616,49$ kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y $M_{ely_Rd}=204,00$ kN*m

Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y $M_{ply_Rd}=223,20$ kN*m

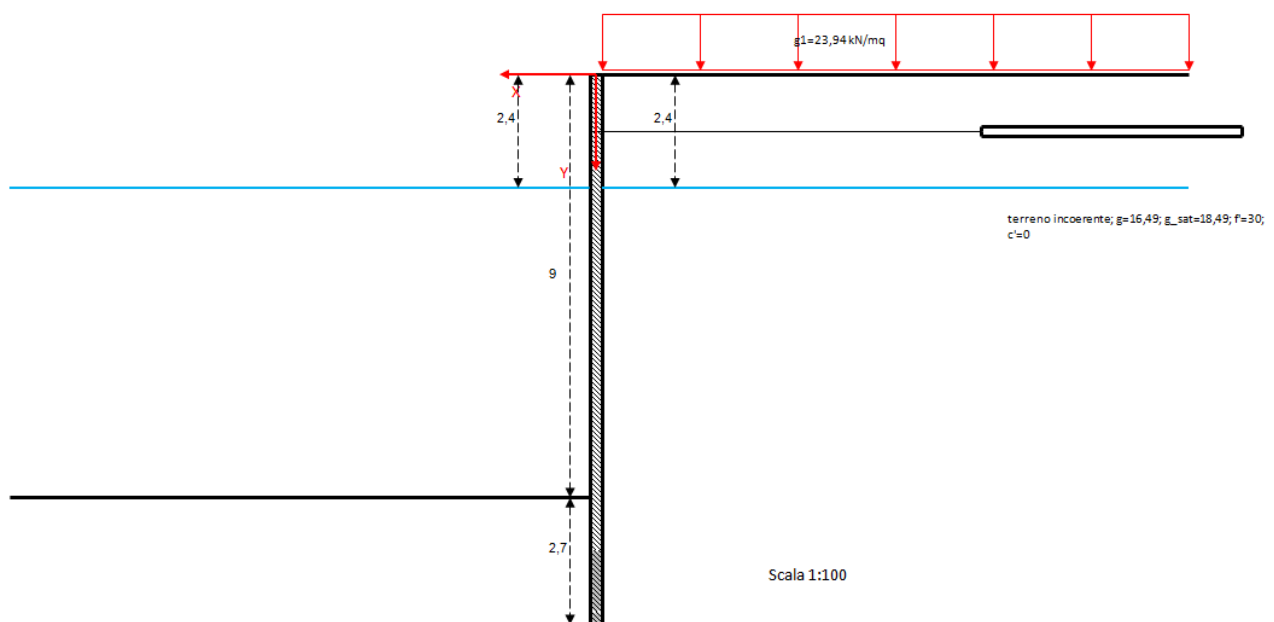
x (m)	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
0,00	0,00	0,00	0,00			Si
0,20	-0,29	-0,31	-0,02	0,3		Si
0,40	-0,59	-1,25	-0,17	1,2		Si
0,60	-0,88	-2,81	-0,56	2,6		Si
0,80	-1,18	-4,99	-1,33	4,7		Si
1,00	-1,46	-7,80	-2,60	7,3		Si
1,20	-1,76	-11,23	-4,49	10,6		Si
1,40	-2,05	-15,29	-7,14	14,4		Si
1,60	-2,35	-19,97	-10,64	21,0		Si
1,80	-2,64	-25,27	-15,17	29,8		Si
2,00	-2,94	-31,20	-20,80	40,9		Si
2,20	-3,23	-37,75	-27,68	54,3		Si
2,40	-3,53	-44,93	-35,94	70,5		Si
2,60	-3,82	-52,73	-45,70	89,6		Si
2,80	-4,12	-61,15	-57,07	111,8		Si
3,00	-4,40	-70,20	-70,20	137,5		Si
3,20	-4,70	-79,87	-85,20	166,8		Si
3,40	-4,99	-90,17	-102,19	200,0		Si
3,60	-5,29	-101,09	-121,31	237,4		Si
3,80	-5,58	-112,63	-142,67	279,1		Si
4,00	-5,88	-124,80	-166,40	325,5		Si
4,27	-6,28	-140,34	-202,81	396,6		Si
4,55	-6,68	-152,75	-243,05	475,3		No
4,82	-7,09	-162,01	-286,26	559,7		No
5,10	-7,49	-168,16	-331,58	648,2		No
5,37	-7,90	-171,16	-378,17	739,3		No
5,64	-8,29	-171,02	-425,14	831,0		No
5,92	-8,70	-167,76	-471,64	921,9		No
6,19	-9,10	-161,36	-516,82	1.010,2		No
6,47	-9,50	-151,84	-559,82	1.094,2		No
6,74	-9,91	-139,16	-599,77	1.172,3		No
7,02	-10,31	-123,37	-635,83	1.242,7		No
7,29	-10,72	-104,44	-667,13	1.303,9		No
7,56	-11,11	-82,38	-692,80	1.354,0		No
7,84	-11,52	-57,18	-712,00	1.391,6		No
8,11	-11,92	-28,85	-723,86	1.414,8		No
8,39	-12,32	2,63	-727,52	1.422,0		No
8,66	-12,73	37,22	-722,14	1.411,5		No
8,93	-13,13	74,95	-706,84	1.381,6		No
9,21	-13,54	115,82	-680,76	1.330,7		No
9,48	-13,93	159,82	-643,04	1.257,1		No
9,76	-14,34	206,95	-592,85	1.159,1		No
10,03	-14,74	257,22	-529,31	1.035,0		No
10,30	-15,14	310,62	-451,55	883,2		No
10,58	-15,54	367,16	-358,72	701,9		No
10,85	-15,95	426,83	-249,97	489,6		No
10,85	-15,95	426,83	-249,97	489,6		No

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 75 di 88
---	----------------------	---------------

10,97	-16,12	386,62	-203,32	398,4	No
11,08	-16,28	345,85	-161,29	325,3	Si
11,20	-16,45	304,54	-124,00	286,4	Si
11,31	-16,62	262,68	-91,45	247,1	Si
11,43	-16,79	220,27	-63,74	207,2	Si
11,54	-16,96	177,31	-40,94	166,8	Si
11,66	-17,12	133,81	-23,09	125,9	Si
11,77	-17,29	89,76	-10,26	84,4	Si
11,89	-17,46	45,16	-2,52	42,5	Si
12,00	-17,64	0,00	0,07	1,6	Si

Come si può vedere, le verifiche sia geotecniche che strutturali non risultano soddisfatte. Occorre riprogettare la palancola.

9) CALCOLO DI UNA PALANCOLA IN ACCIAIO CON IL METODO AGLI ELEMENTI FINITI



Sia data una paratia in acciaio con un ordine di tiranti disposta in terreno incoerente (condizioni drenate) come sopra illustrato ($L=11,7$ m, $z_{wm}=z_{wv}=2,4$ m).

Il livello dell'acqua ($\gamma_w=10$ kN/m³) è lo stesso da entrambi i lati (la paratia è permeabile in corrispondenza dei giunti). Il terreno è omogeneo ed ha i seguenti parametri geotecnici:

strato	posizione z_t (m)	γ kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	ϕ' (°)	c' kN/m ²	$\delta a=\delta p$ (°)	OCR
1		16,49	20,37	30	0	0	1

Il tirante orizzontale, in acciaio, ha un ancoraggio posto a $Y_a=1,2$ metri dall'origine del sistema di riferimento assoluto, lunghezza libera di 9 m, area del tirante (sezione di acciaio) pari a 19,6 cm² (diametro barra 50 mm), bulbo di fondazione lungo 6 m, diametro di perforazione 0,2 m. L'interasse dei tiranti lungo l'asse Z è di 1,8 m.

L'acciaio della paratia e del tirante ha modulo elastico E pari a 200.000 MPa ($=N/mm^2$). La sezione d'acciaio (generica) continua ha un'area, un momento di inerzia e un modulo di resistenza per metro lineare di paratia, rispettivamente, pari a $123\text{ cm}^2/m$, $25.526\text{ cm}^4/m$ e $1.210\text{ cm}^3/m$.

Sul terrapieno di monte agisce un sovraccarico uniformemente ripartito di 23,94 kN/mq di tipo permanente. Non si considera l'azione sismica.

Essendo presente un solo carico esterno di tipo permanente, basta definire una sola Forma di carico che identifichiamo con G1.

Si risolve la paratia, in base alla normativa del 1988, sia con il metodo classico dell'equilibrio limite (*free earth support*) che con il metodo agli elementi finiti-analisi lineare con mesh costruita manualmente.

Per il calcolo delle spinte si usa la teoria di Coulomb generalizzata.

Soluzione con metodo classico sull'equilibrio limite

La verifica alla rotazione intorno al punto di ancoraggio (atto di moto rigido), eseguita con il metodo "free earth support", risulta non verificata (coefficiente di sicurezza pari a 0,481). Lo sforzo nel tirante è pari a 262,23 kN (forza di trazione orizzontale).

Di seguito si riportano i diagrammi delle spinte in condizioni limite e delle caratteristiche di sollecitazione.

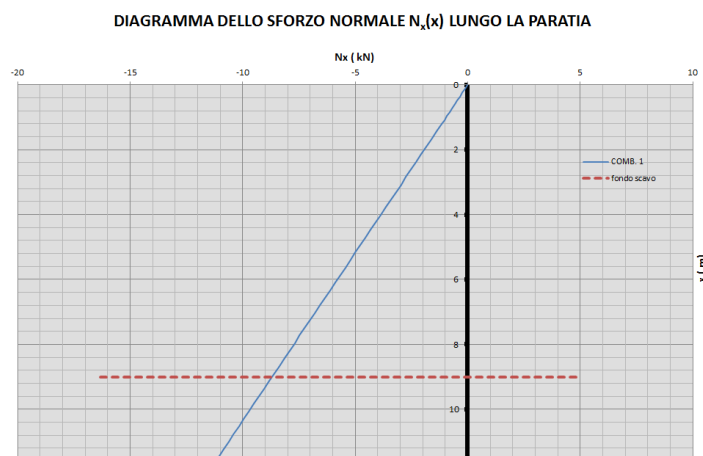
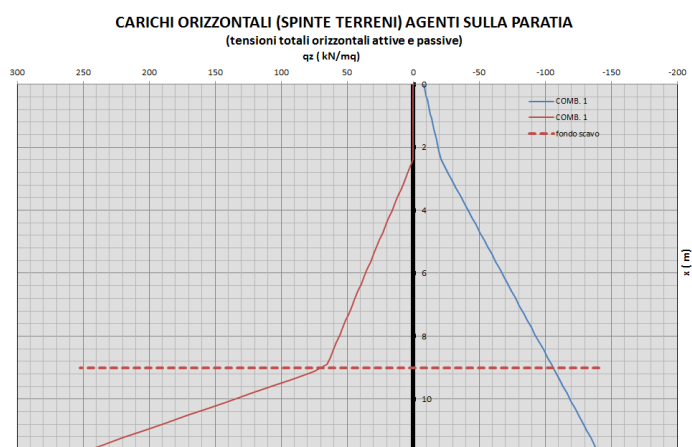


DIAGRAMMA DEL TAGLIO $T_z(x)$ LUNGO LA PARATIA

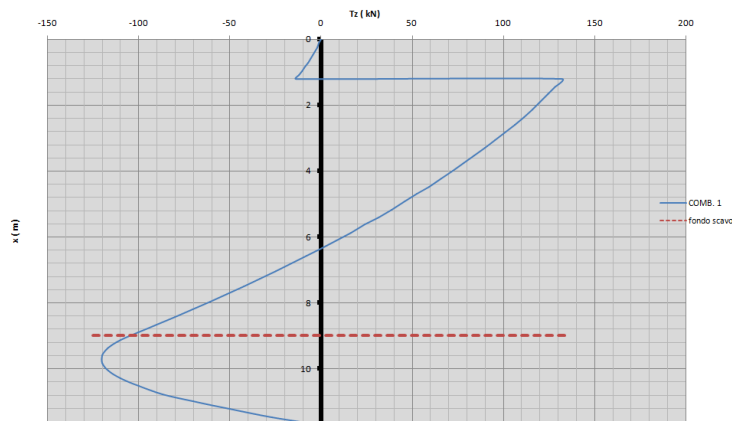
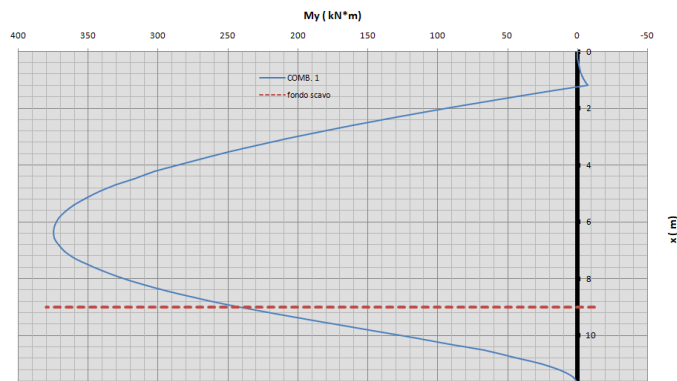


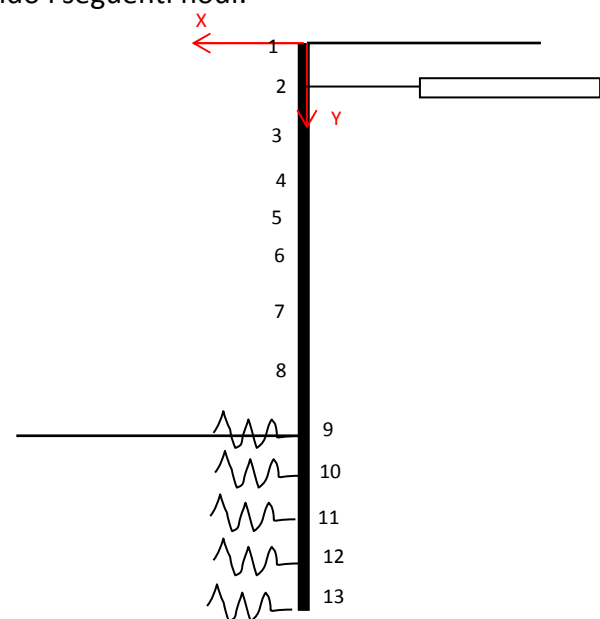
DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE $M_y(x)$ LUNGO LA PARATIA



Soluzione con metodo agli elementi finiti – analisi lineare

Si opera con la **mesh manuale** e l'analisi lineare fissando i seguenti nodi:

nodo	X (m)	Y(m)	Vincolo esterno?
1	0	0	NO
2	0	1,2	SI
3	0	2,4	NO
4	0	3,6	NO
5	0	4,8	NO
6	0	6,0	NO
7	0	7,2	NO
8	0	8,1	NO
9	0	9,0	SI
10	0	9,675	SI
11	0	10,35	SI
12	0	11,025	SI
13	0	11,7	SI



Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 78 di 88
---	----------------------	---------------

I vincoli esterni, ove saranno considerate le molle elastiche che modellano il tirante e il terreno, si inseriscono in corrispondenza del nodo 2 (tirante) e dei nodi da 9 a 13 che ricadono entro il terreno di valle (sotto il fondo scavo). Per il nodo 2 si deve spuntare, nelle caratteristiche del nodo, l'opzione "tirante".

I vincoli esterni sono cedevoli elasticamente lungo la direzione X.

Per il nodo 2, spuntare la voce vincolo cedevole lungo X. Non si deve indicare la rigidezza alla traslazione lungo X della barra di ancoraggio (tirante) in quanto viene calcolata in automatico dal software.

La rigidezza alla traslazione lungo X delle molle che simulano il terreno si calcola moltiplicando il modulo di reazione o di Winkler K_s ($F \cdot L^{-3}$) del terreno per l'area di influenza di ogni molla (distanza tra i nodi per un metro di profondità di paratia lungo l'asse Z). Si suppone che il modulo di reazione orizzontale del terreno sia espresso dalla classica relazione binomia:

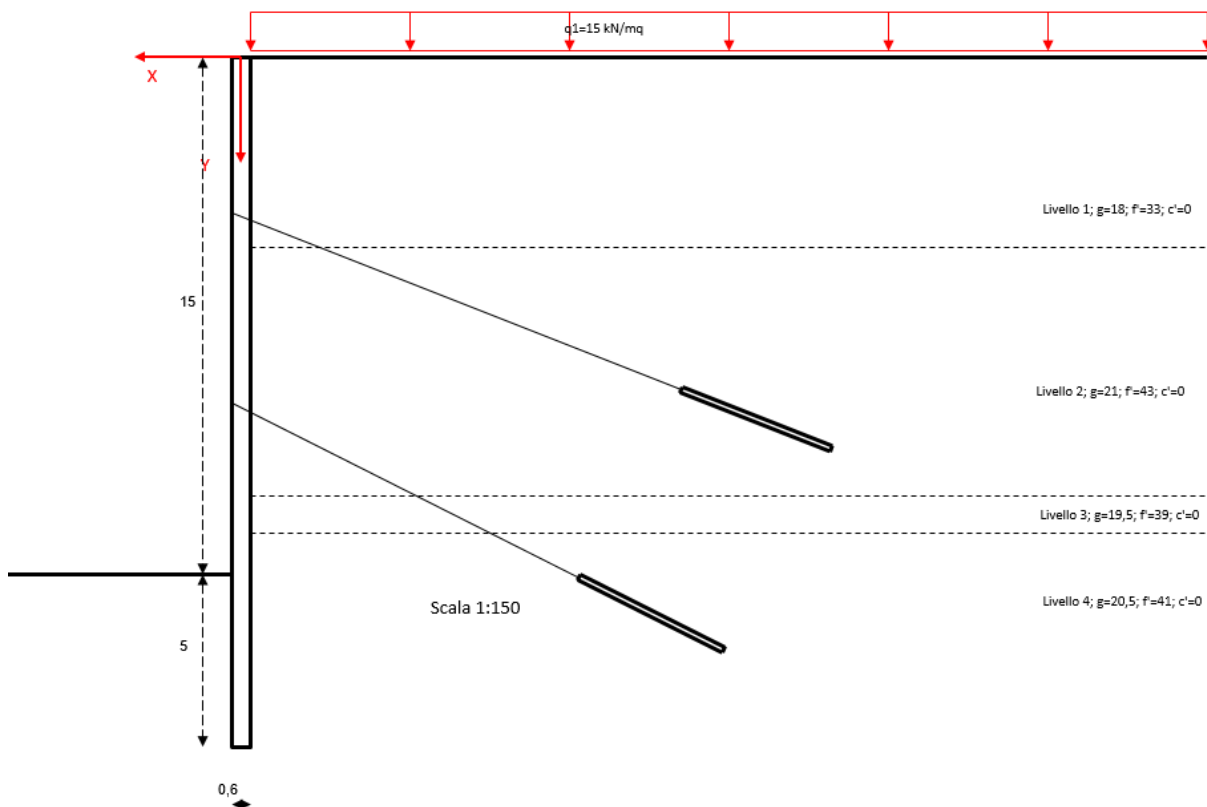
$$k_s = A_s + B_s \cdot z^n$$

con $A_s=1.600 \text{ kN/m}^3$, $B_s=2.000 \text{ kN/m}^3$, $n=1$ e z profondità in metri:

nodo	z (m)	k_s (kN/m ³)	Area influenza (m ²)	Rigidezza (kN/m)
9	9,0	19.600	$0,675/2 \times 1=0,3375$	6.615,00
10	9,675	20.950	$0,675 \times 1=0,6750$	14.141,25
11	10,35	22.300	$0,675 \times 1=0,6750$	15.052,50
12	11,025	23.650	$0,675 \times 1=0,6750$	15.963,75
13	11,7	25.000	$0,675/2 \times 1=0,3375$	8.437,50

Si lascia all'utente l'esecuzione del calcolo. Ovviamente se si opera con la mesh automatica si evita il fastidioso inserimento manuale dei dati e il calcolo manuale delle rigidezze delle molle che simulano i terreni.

10) CALCOLO DI UNA PARATIA IN C.A. MULTITIRANTATA CON IL METODO AGLI ELEMENTI FINITI



Sia dato un diaframma in cemento armato, avente spessore 0,6 m, con due ordini di tiranti passivi in terreno incoerente stratificato in assenza di pressioni neutre, come sopra illustrato.

Il terreno è costituito da quattro strati ed ha i seguenti parametri geotecnici:

strato	posizione z_t (m)	γ (kN/m^3)	ϕ' (°)	c' (kN/m^2)	$\delta a = \delta p$ (°)	OCR
1	5,5	18	33	0	16,5	1
2	12,7	21	43	0	21,5	1
3	13,8	19,5	39	0	19,5	1
4		20,5	41	0	20,5	1

Il primo ordine di tiranti, in acciaio, ha un ancoraggio posto a 4,5 metri dall'origine del sistema di riferimento, inclinazione di 20° rispetto all'orizzontale, lunghezza libera di 15 m, area del tirante (sezione di acciaio) pari a $12,0 \text{ cm}^2$, diametro equivalente armatura 20 mm, bulbo di fondazione lungo 5 m, diametro di perforazione 0,2 m.

Il secondo ordine di tiranti, in acciaio, ha un ancoraggio posto a 10,0 metri dall'origine del sistema di riferimento, inclinazione di 25° rispetto all'orizzontale, lunghezza libera di 12 m, area del tirante (sezione di acciaio) pari a $16,0 \text{ cm}^2$, diametro equivalente armatura 30 mm, bulbo di fondazione lungo 5 m, diametro di perforazione 0,2 m.

L'interasse dei tiranti lungo l'asse Z, per entrambi gli ordini, è di 2,5 m.

I moduli di reazione del sottosuolo si determinano con la formula di Bowles (1982) che genera i seguenti parametri della formula binomia:

strato	As (N/cm ³)	As (N/cm ³)	n
1	8,79927	18,78625	0,5
2	57,58186	83,17198	0,5
3	26,03465	43,64682	0,5
4	38,97151	60,59545	0,5

Il calcestruzzo della paratia ha classe C25/30 e l'acciaio è il B450C. Stessa classe del cls si adotta per le fondazioni dei tiranti.

Per l'armatura longitudinale nella paratia si fissa un diametro di 20 mm, copriferro 3 cm e rapporto armature pari a 1. Per l'armatura trasversale si prevedono staffe a 4 braccia di diametro 8 mm.

Sul terrapieno di monte agisce un sovraccarico uniformemente ripartito di 15,00 kN/mq di tipo accidentale.

Essendo presente un solo carico esterno di tipo accidentale, basta definire una sola Forma di carico che identifichiamo con Q1 (vengono generate dal software due combinazioni di carico).

Si risolve la paratia, in base alle NTC 2018, con il metodo agli elementi finiti, usando l'**analisi lineare** e la mesh automatica, fissando una lunghezza media degli elementi finiti pari a 0,225 m, in assenza di azioni sismiche, e con diagramma di spinta attiva a monte esteso fino a profondità 15 m.

A calcolo eseguito, di seguito si riportano i diagrammi delle spinte, delle caratteristiche di sollecitazione e degli spostamenti della paratia, per ogni combinazione di carico calcolata.

CARICHI ESTERNI ORIZZONTALI AGENTI SULLA PARATIA

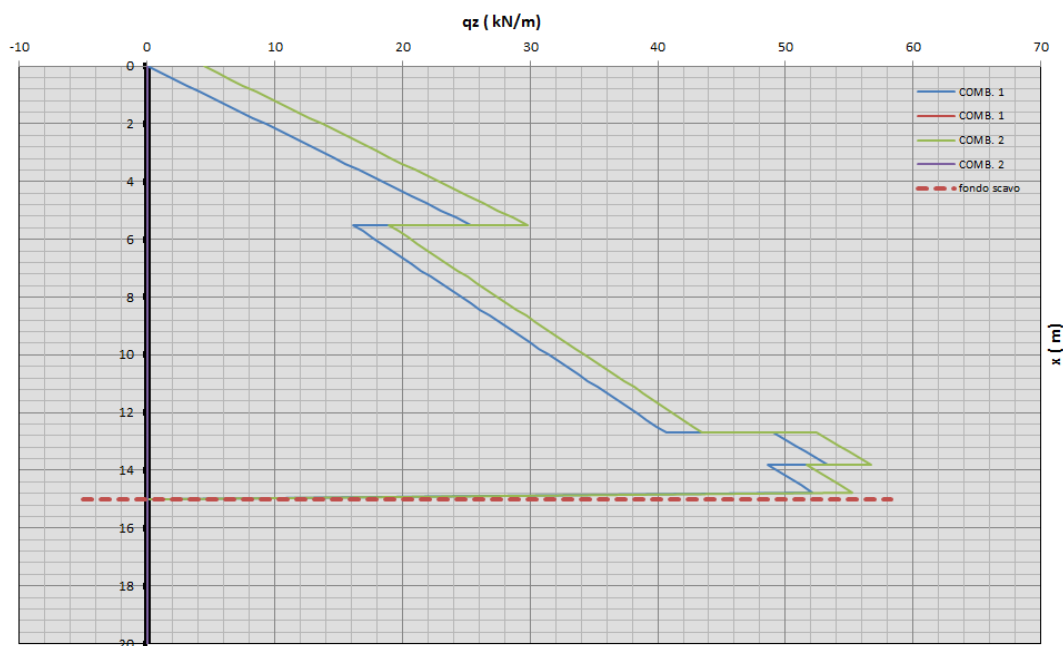


DIAGRAMMA DEL TAGLIO $T_z(x)$ LUNGO LA PARATIA

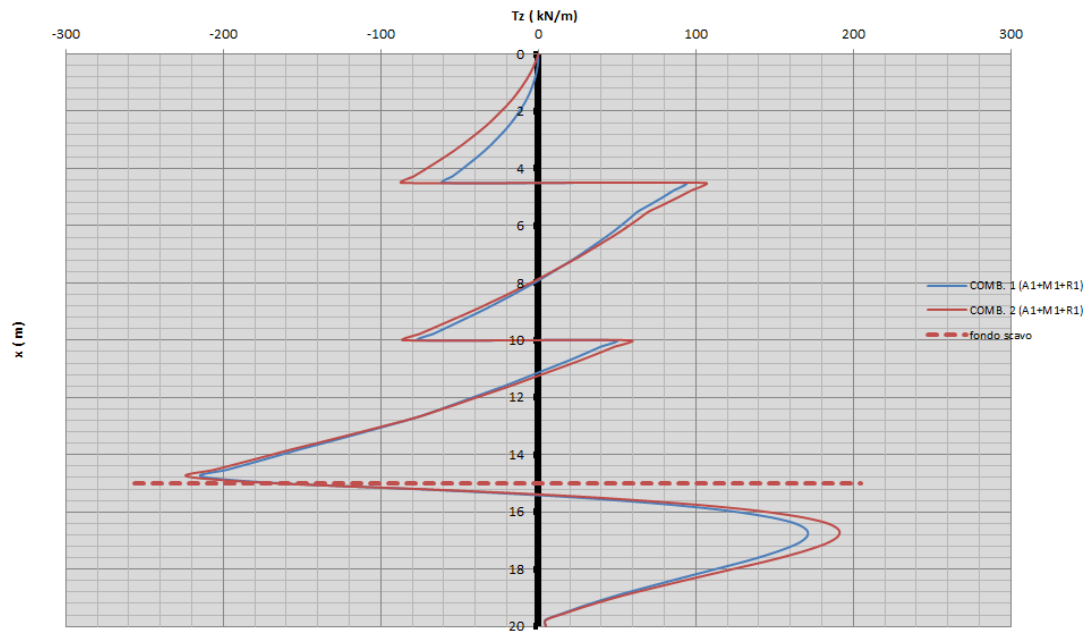
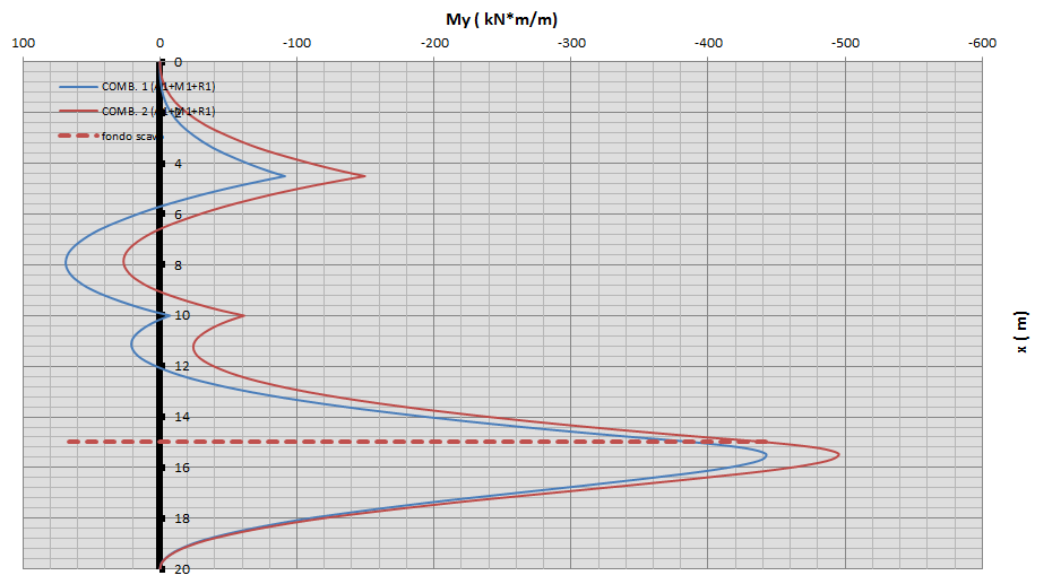
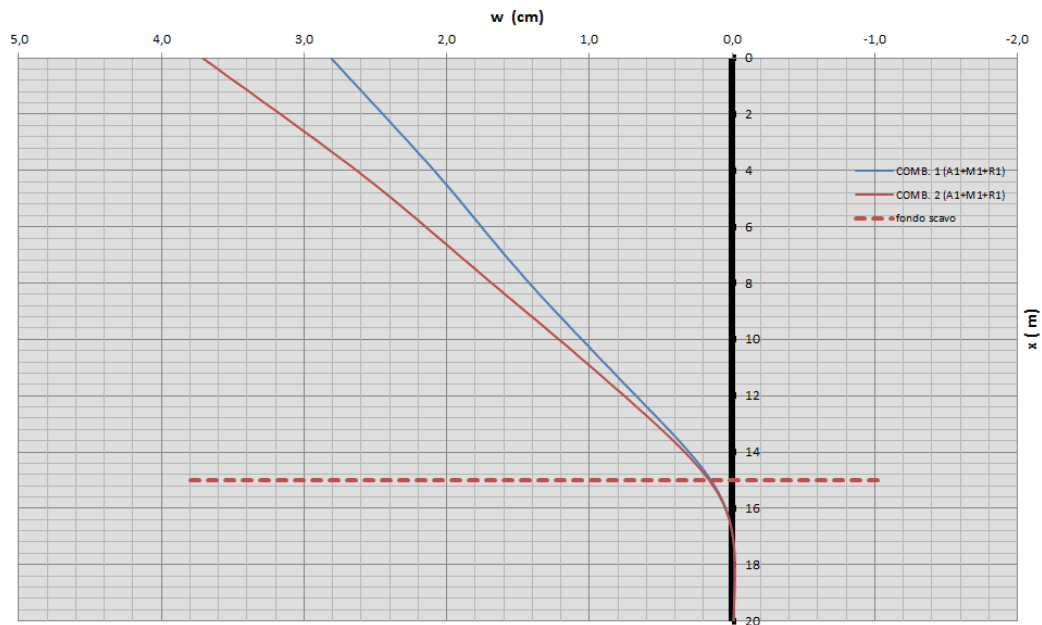


DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE $M_y(x)$ LUNGO LA PARATIA



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



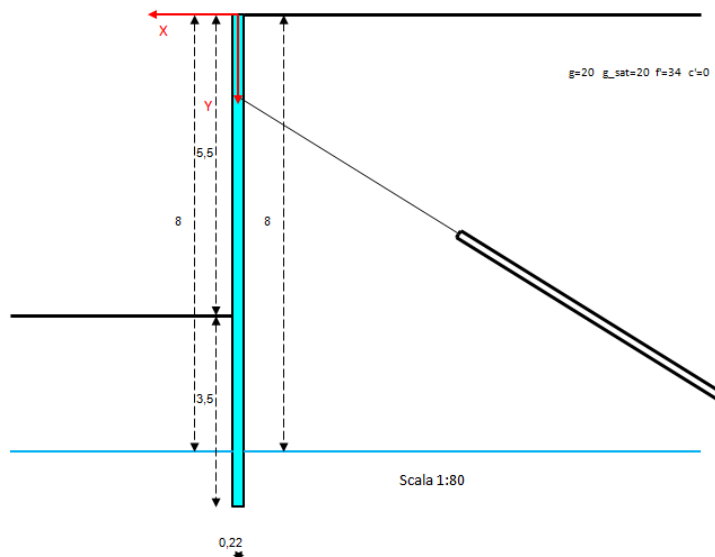
11) ANALISI NON LINEARE PER FASI DI SCAVO DI UNA BERLINESE TIRANTATA

Sia data una berlinese di micropali $\phi 220$, realizzata con cls C25/30 e tubolari di acciaio tipo S355 aventi diametro esterno 139 mm, spessore 10 mm e interasse 40 cm, di

altezza complessiva 9 m, alla quale è applicato un ordine di tiranti. L'opera è di tipo provvisoria per cui possono trascurarsi le azioni sismiche.

È presente la falda a profondità di 8 metri ($\gamma_w=10 \text{ kN/m}^3$).

Il terreno è omogeneo ed ha i seguenti parametri geotecnici:



strato	posizione z_t (m)	γ (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	ϕ' (°)	c' (kN/m^2)	$\delta a = \delta p$ (°)	OCR
Sabbia limosa		20	20	34	0	0	1

Il modulo di reazione del sottosuolo è pari a 50 N/cm^3 (costante con la profondità).

I tiranti in acciaio, di tipo passivo (non presollecitati), hanno un ancoraggio posto a 1,5 metri dall'origine del sistema di riferimento, inclinazione di 30° rispetto

Paratie.Az 9.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Manuale d'uso	Pag. 83 di 88
---	----------------------	---------------

all'orizzontale, lunghezza libera di 5 m, area del tirante (sezione di acciaio) pari a 2,78 cm² (n. 2 trefoli ognuno con un diametro 15,2 mm e una sezione da 1,39 cm²), diametro equivalente armatura 18,81 mm, bulbo di fondazione lungo 6 m e diametro di perforazione 0,15 m.

L'acciaio per precompresso dei tiranti ha una tensione caratteristica di snervamento di 1.670 N/mm², mentre il cls utilizzato ha R_{ck}=30 N/mm². L'interasse dei tiranti lungo l'asse Z è di 3,0 m.

Il coefficiente di sbulamento alfa=1,4 e la resistenza tangenziale q_s=0,12 MPa=120 kPa si ricavano dalle tabelle e grafici proposti da Bustamente e Doix e riportati nel presente Manuale, in funzione del tipo di terreno, del tipo di iniezione (IRS) e per un valore medio di N_{SPT} pari a 13 (un solo profilo di indagine).

Si risolve la paratia, in base alle NTC 2008, con il metodo agli elementi finiti con mesh automatica e analisi non-lineare, fissando una lunghezza media degli elementi finiti pari a 0,2 m e considerando nell'inerzia della sezione la partecipazione del cls interno e di quello esterno al micropalo.

Non essendo presenti carichi esterni occorre definire una Forma di carico di tipo permanente "sfavorevole alla sicurezza" che identifichiamo con G, per simulare la spinta dei terreni.

Viene effettuata l'analisi per fasi di scavo (DATI GENERALI>Metodo di calcolo e impostazioni), inserendo i relativi dati da IMPOSTAZIONI>Fasi di scavo:

Fase 1: situazione iniziale
Fase 2: scavo fino a 2 m
Fase 3: installazione tiranti e scavo fino a 3 m
Fase 4: scavo fino a 4 m
Fase 5: scavo fino a 4,5 m
Fase 6: scavo fino a 5 m
Fase 7: scavo fino a 5,5 m

I principali risultati ottenuti si riassumono nella seguente tabella:

Fase	FS rotaz (atto di moto rigido)	N _x max (kN/m)	T _z max (kN/m)	M _y max (kNm/m)	w (cm) testa paratia	σ _{id} max (N/mm ²)	Trazione nei tiranti (kN)	n° iteraz. calcolo non lineare
1		-20,37	0	0	0	-	-	1
2		-20,37	-15,93	-18,81	0,617	64,2	-	3
3		-31,04	-17,17	-17,12	0,784	59,8	63,98	3
4		-39,04	-31,56	-26,14	1,044	91,4	112,04	3
5		-43,40	-40,98	-34,46	1,086	117,5	138,20	3
6		-48,04	-51,55	-45,54	1,046	154,3	166,02	4
7	1,617	-53,20	-63,12	63,44	0,895	218,4	196,97	5

Da notare l'incremento dello sforzo normale negli scenari in cui è presente il tirante inclinato sull'orizzontale, incremento dovuto alla componente verticale della forza verso il basso che il tirante esercita sulla paratia.

Di seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni, delle pressioni orizzontali nel terreno e la deformata della paratia per la fase 7.

DIAGRAMMA DELLO SFORZO NORMALE $N_x(x)$ LUNGO LA PARATIA

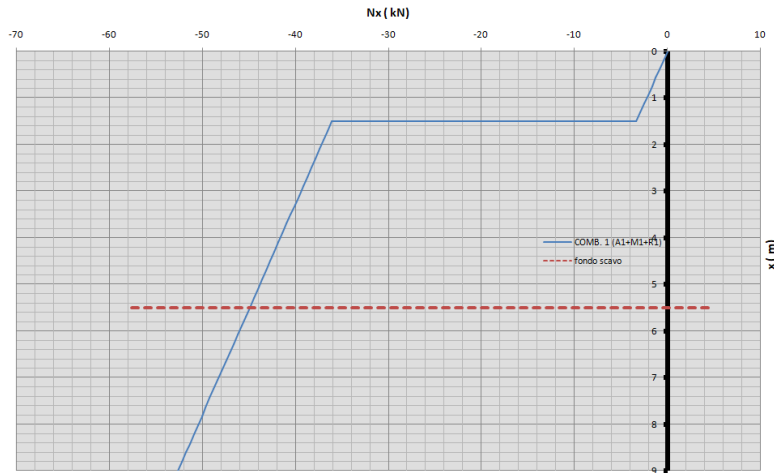


DIAGRAMMA DEL TAGLIO $T_x(x)$ LUNGO LA PARATIA

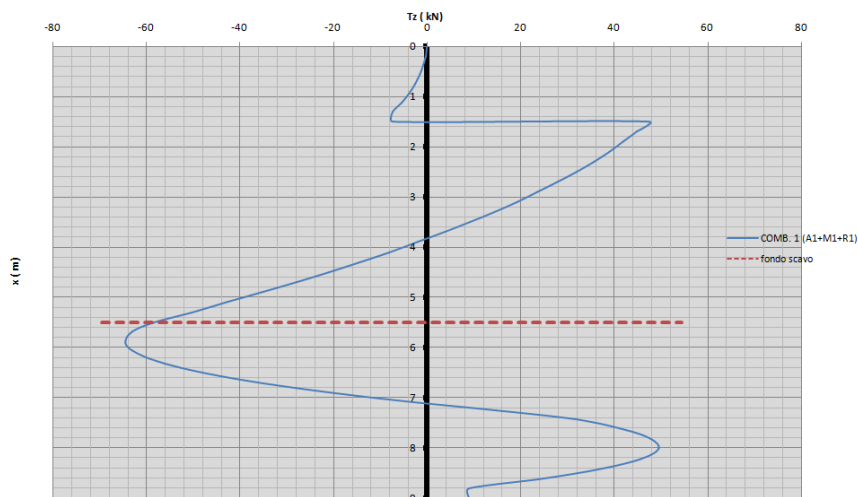
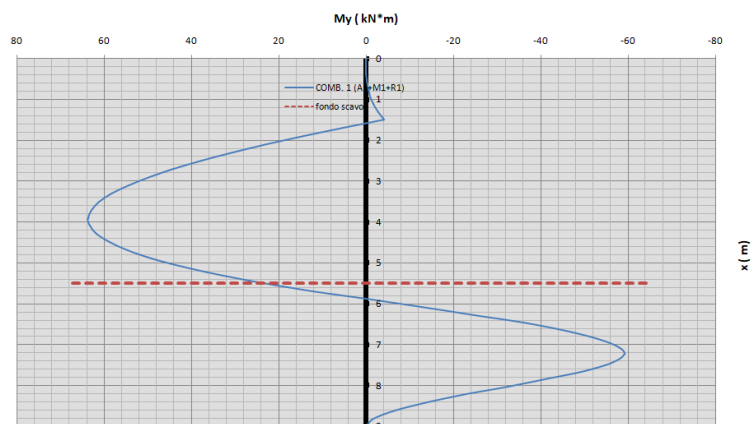


DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE $M_y(x)$ LUNGO LA PARATIA



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

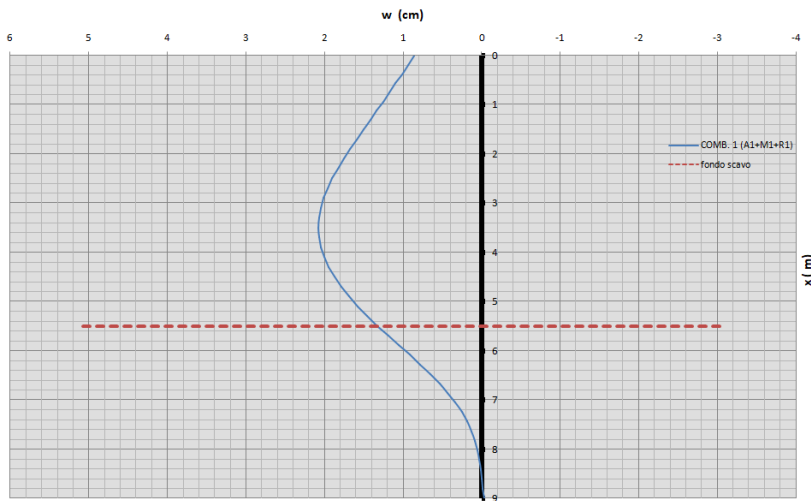
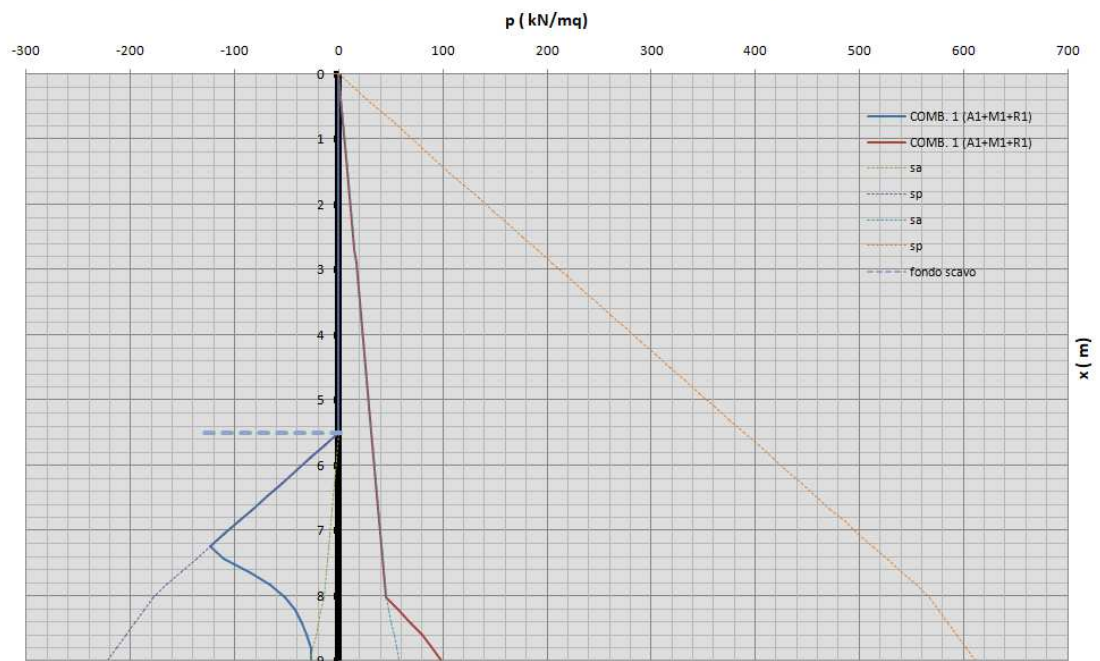
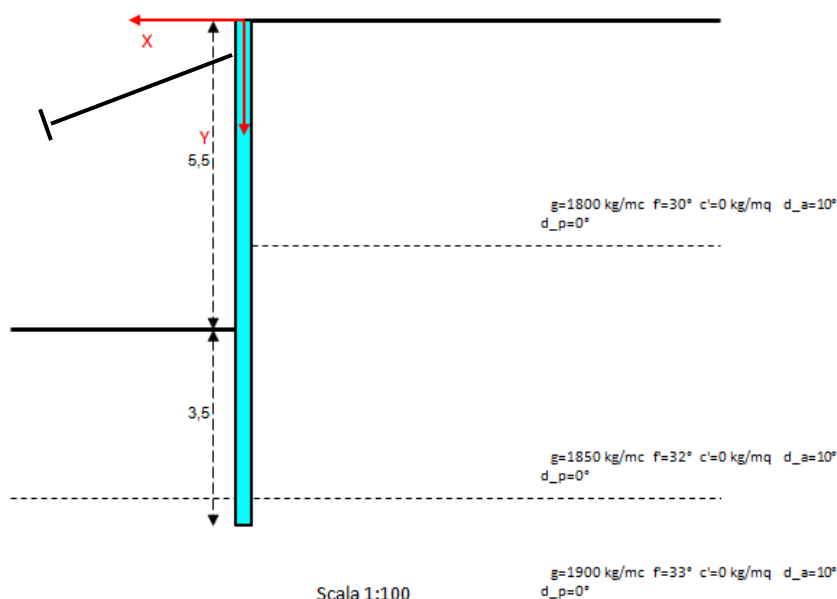


DIAGRAMMA PRESSIONI ORIZZONTALI NEL TERRENO E DELL'ACQUA



In ques'ultimo grafico si può notare l'ampia zona di molle plasticizzate a valle.

12) ANALISI NON LINEARE DI UNA PALANCOLA METALLICA CON PUNTONE



Si consideri una palanca metallica alta 9 metri, con un'altezza di scavo di 5,5 m e una profondità di infissione di 3,5 m, realizzata in acciaio S 355, alla quale è applicato un ordine di puntoni metallici. Lo sviluppo lungo Z della paratia è di

10 metri.

L'opera è di tipo provvisoria per cui possono trascurarsi le azioni sismiche.

La falda è assente.

La sezione metallica della paratia (forma "generica") ha un'area di $207 \text{ cm}^2/\text{ml}$, un momento di inerzia di $55.240 \text{ cm}^4/\text{ml}$ e un modulo di resistenza elastico di $2.540 \text{ cm}^3/\text{ml}$.

Il terreno è stratificato ed ha i seguenti parametri geotecnici:

strato	posizione z_t (m)	γ (kg/m^3)	ϕ' ($^\circ$)	c' (kg/m^2)	δ_a ($^\circ$)	δ_p ($^\circ$)	OCR	k_s (kg/cm^3)
Terreno 1	4	1800	30	0	10	0	1	1,17
Terreno 2	8,5	1850	32	0	10	0	1	2,46
Terreno 3		1900	33	0	10	0	1	4,22

Il modulo di reazione di ogni strato di terreno si assume quindi costante con la profondità.

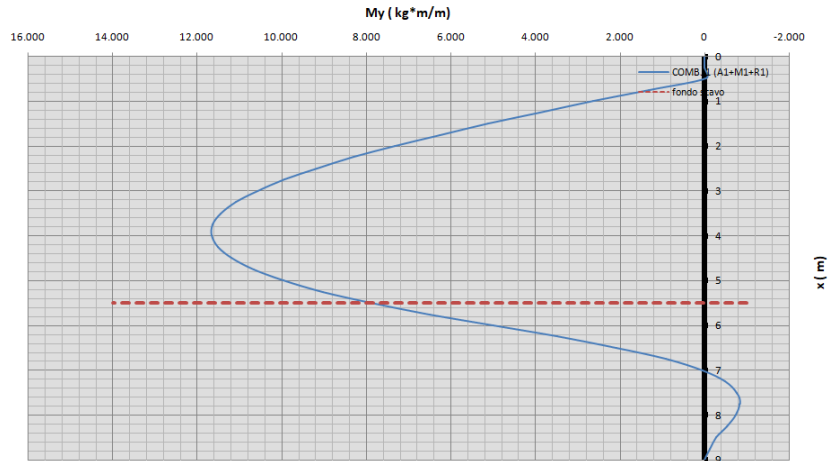
I puntoni di acciaio ($E_s = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$) hanno il punto di contrasto posto a 0,5 metri dalla sommità della paratia, inclinazione di -20° (angolo antiorario) rispetto all'orizzontale, lunghezza 2,5 m, area della sezione di acciaio $53,83 \text{ cm}^2$ (profilo HEA 200) e un interasse lungo l'asse Z pari a 3,0 m.

Non essendo presenti carichi esterni è necessario e sufficiente creare una sola Forma di carico di tipo permanente "sfavorevole alla sicurezza" per simulare le spinte dei terreni (la chiamiamo G). Fatto ciò si generano le combinazioni di carico SLU (Carichi esterni>Combinazioni di carico SLU): viene creata una sola combinazione di carico di tipo fondamentale.

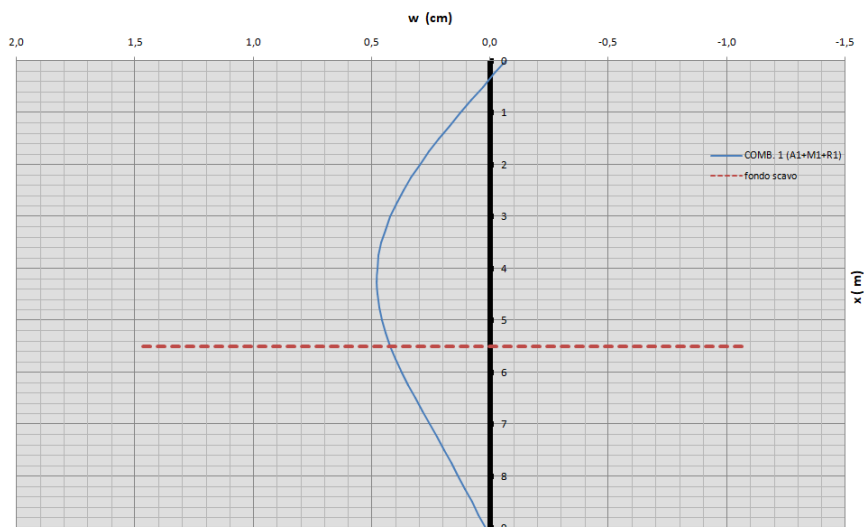
Si risolve la paratia (con le NTC 2018) con il metodo agli elementi finiti con mesh automatica e analisi non-lineare, fissando una lunghezza media degli elementi finiti pari a 0,25 m.

Di seguito si riporta il diagramma dei momenti flettenti e la deformata della paratia.

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



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



Qualora il puntone si voglia considerare rigido (vincolo fisso), una volta eseguito il calcolo con la mesh automatica come sopra, basta scegliere "mesh manuale" in DATI GENERALI e in "NODI/VINC." spuntare la voce di spostamento nullo lungo X e lungo Y per il nodo 3.

Paratie.Az 9.0 (Ing. Ciro Azzara)	Manuale d'uso	Pag. 88 di 88
---	----------------------	---------------

Bigliografia

- [1] Cestelli Guidi C. (1975) – *Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni* – Hoepli, Milano
- [2] Croce A. (1980) – *Appunti di Geotecnica* – L'Ateneo, Napoli
- [3] Lancellotta R. (1987) - *Geotecnica*. Zanichelli, Bologna.
- [4] Bowles, J.E. (1988) - *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill
- [5] Viggiani C. (1996) - *Fondazioni*. CUEN, Napoli
- [6] Lancellotta R. (2004) - *Geotecnica*. Zanichelli, Bologna
- [7] Bishop A.W. (1954) - *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes*, Geotechnique Vol. 5 (1955)
- [8] Bustamante M., Doix B. (1985), *Une méthode pour le calcul des tirants ed des micropieux injectés*, Bull. Liaison Lab. Points et Chaussées, Paris, n. 140, nov-déc. 1985 – Ref. 3047, pp- 75-92;
- [9] Lancellotta R. (2002), *Analytical solution of passive earth pressure*, Gèotechnique
- [10] Lancellotta R. (2007), *Lower-bound approach for seismic passive earth resistance*, Gèotechnique
- [11] S. Rampello, L. Callisto, L. Masini – *Spinte delle terre sulle strutture di sostegno*
- [12] Polizzotto C. – *Scienza delle costruzioni* – Centro stampa Facoltà di Ingegneria di Palermo (1980)
- [13] La Mendola L. – *Applicazione del metodo degli Elementi Finiti ai sistemi mono e bi-dimensionali* – Quaderni di Tecnica delle Costruzioni Università di Palermo A.A. 1989-90
- [14] Giangreco E. – *Teoria e tecnica delle costruzioni*, vol. 1 - Liguori editore, Napoli 1992
- [15] Gavarini C. et al. – *Costruzioni*, vol. 3 – Hoepli editore;
- [16] D.M. 11/03/1988 – *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*;
- [17] Circolare Min. LL.PP. 24/09/1988, n. 30483 – *Legge 2 febbraio 1974 – D.M. 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione*;
- [18] D.M. 11/02/1992 – *Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*
- [19] D.M. 09/01/1996 – *Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche*
- [20] Circ. 15/10/1996, n. 252 – *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M. 9 gennaio 1996*
- [21] D.M. 14/01/2008 – *Norme tecniche per le costruzioni (NTC)*;
- [22] Circ. 02/02/2009, n. 617 – *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*;
- [23] D.M. 17/01/2018 – *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*
- [24] Circ. 21/01/2019, n. 7 C.S.LL.PP. – *Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.*

Data revisione Manuale d'uso: **Maggio 2021**