

# PROVINCIA DI MATERA

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE FRANE AL KM  
139,200 DELLA S.P. EX S.S. 103 E AL KM 0,800  
DELLA S.P. 79 STIGLIANO-GANNANO

## PROGETTO UNIFICATO (DEFINITIVO/ESECUTIVO)

Data:	GIUGNO 2022	1° AGGIORNAMENTO:	2° AGGIORNAMENTO:
Codice elaborato	<b>4.2</b>	Scala	
<b>PROGETTO DELLE STRUTTURE</b>			
<b>RELAZIONE DI CALCOLO MURO SU PALI</b>			
<b>S.P. EX S.S. 103 KM 139,200</b>			

Il Progettista

Ing. Francesco DURSO



Il Responsabile del Procedimento

Ing. Ignazio OLIVERI

## Relazione di calcolo

La presente relazione assume la finalità di illustrare le scelte tecniche e progettuali assunte per la predisposizione del calcolo strutturale del muro su pali ubicato a valle della strada provincia ex SS 103 km 139,200, previsto nell'ambito del progetto definitivo dei lavori di **“Intervento di sistemazione frane al km 139,200 della S.P. ex SS 103 e al km 0,800 della S.P. 79 Stigliano-Gannano”**.

Il muro in calcestruzzo cementizio armato in opera avrà fondazione indiretta su pali trivellati di “grande diametro”, articolato in undici conci elementari, identificati da 1 a 11, dotati di giunto tecnico planimetrico ed è caratterizzato geometricamente nel modo seguente:

- Lunghezza dei conci pari a ml 12,00;
- Larghezza del giunto tecnico pari a 0,10 ml;
- Altezza del paramento di elevazione variabile da 2,40 ml a 3,00 ml;
- Spessore del paramento di elevazione in testa pari a 0,30 ml;
- Spessore del paramento di elevazione al piede pari a 0,50 ml;
- Larghezza complessiva della fondazione pari a 4,00 ml;
- Larghezza mensola di monte e di valle pari a 1,75 ml;
- Spessore della fondazione a valle pari a 1,40 ml;
- Spessore della fondazione a monte pari a ml 1,40 ml;
- Diametro dei pali  $\varnothing$  1000 mm;
- Disposizione dei pali su due file sfalsati ad interasse di 2,50 ml;
- Interasse tra le file 2,50 ml;
- Lunghezza dei pali pari a ml 22,10 ml.

### Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

- Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018

## Richiami teorici

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale

Se il muro è in calcestruzzo armato: Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

Se il muro è a gravità: Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione e verifica in diverse sezioni al ribaltamento, allo scorrimento ed allo schiacciamento.

## Calcolo della spinta sul muro

### Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali  $\gamma$ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e incrementati i soli carichi variabili.

### Metodo di Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione  $\rho$  rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio ( $W$ ), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura ( $R$  e  $C$ ) e resistenza per coesione lungo la parete ( $A$ );
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta  $S$  sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta  $S$  rispetto all'ordinata  $z$ . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

### Spinta in presenza di falda

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa, al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume efficace

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso specifico dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione esercitata dall'acqua.

### Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta  $\varepsilon$  l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e  $\beta$  l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta  $S'$  considerando un'inclinazione del terrapieno e della parete pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta \quad \beta' = \beta + \theta$$

dove  $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$  essendo  $k_h$  il coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di  $k_h$ . In presenza di falda a monte,  $\theta$  assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

Detta  $S$  la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente  $A$  vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2 \beta \cos \theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente  $A$  si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di  $\theta$ .

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente  $A$  viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{IH} = k_h W \quad F_{IV} = \pm k_v W$$

dove  $W$  è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi. Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

## Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a  $\eta_g$ .

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro. In presenza di pali, per ogni centro vengono analizzate 3 famiglie di superfici di scorrimento: la prima famiglia di superfici passa per tacco della fondazione, la seconda per il punto centrale della lunghezza dei pali, la terza per il piede dei pali. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 15x15 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 25.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_{i=0}^n \left[ \frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \varphi_i}{m} \right]}{\sum_{i=0}^n W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine  $m$  è espresso da

$$m = \left( 1 + \frac{\tan \varphi_i \tan \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i$ -esima rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i$ -esima,  $c_i$  e  $\varphi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine  $m$  che è funzione di  $\eta$ . Quindi essa è risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

## Analisi dei pali

Per l'analisi della capacità portante dei pali occorre determinare alcune caratteristiche del terreno in cui si va ad operare. In particolare bisogna conoscere l'angolo d'attrito  $\phi$  e la coesione  $c$ . Per pali soggetti a carichi trasversali è necessario conoscere il modulo di reazione laterale o il modulo elastico laterale.

La capacità portante di un palo solitamente viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_t = Q_p + Q_l - W_p$$

dove:

$Q_T$  portanza totale del palo  
 $Q_P$  portanza di base del palo  
 $Q_L$  portanza per attrito laterale del palo  
 $W_P$  peso proprio del palo

e le due componenti  $Q_p$  e  $Q_l$  sono calcolate in modo indipendente fra loro.

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo  $Q_A$  applicando il coefficiente di sicurezza della portanza alla punta  $\eta_p$  ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale  $\eta_l$ .

Palo compresso:

$$Q_d = \frac{Q_p}{\eta_p} + \frac{Q_l}{\eta_l} - W_p$$

Palo teso:

$$Q_d = \frac{Q_l}{\eta_l} - W_p$$

#### Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_p = A_p \left( cN'_c + qN'_q + \frac{1}{2} B\gamma N'_\gamma \right)$$

dove:

$A_p$  è l'area portante efficace della punta del palo  
 $c$  è la coesione  
 $q$  è la pressione geostatica alla quota della punta del palo  
 $\gamma$  è il peso specifico del terreno  
 $D$  è il diametro del palo  
 $N'_c$   $N'_q$   $N'_\gamma$  sono i coefficienti di capacità portante corretti per tener conto degli effetti di forma e di profondità.

#### Capacità portante per resistenza laterale

La resistenza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_l = \int_S \tau_a dS$$

dove  $\tau_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \tan \delta$$

dove:

$c_a$  è l'adesione palo-terreno  
 $\delta$  è l'angolo di attrito palo-terreno  
 $\gamma$  è il peso specifico del terreno  
 $z$  è la generica quota a partire dalla testa del palo  
 $L$  è la lunghezza del palo  
 $P$  è il perimetro del palo  
 $K_s$  è il coefficiente di spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno dal suo stato di addensamento e dalle modalità di realizzazione del palo.

#### Portanza trasversale dei pali - Analisi ad elementi finiti

Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante elastica  $K$  espressa in Kg/cm<sup>2</sup>/cm che rappresenta la pressione (in Kg/cm<sup>2</sup>) che bisogna applicare per ottenere l'abbassamento di 1 cm.

Nel metodo degli elementi finiti occorre discretizzare il particolare problema. Nel caso specifico il palo viene suddiviso in un certo numero di elementi di eguale lunghezza. Ogni elemento è caratterizzato da una sezione avente area ed inerzia coincidente con quella del palo.

Il terreno viene schematizzato come una serie di molle orizzontali che reagiscono agli spostamenti nei due versi. La rigidezza assiale della singola molla è proporzionale alla costante di Winkler orizzontale del terreno, al diametro del palo ed alla lunghezza dell'elemento. La molla, però, non viene vista come un elemento infinitamente elastico ma come un elemento con comportamento del tipo elastoplastico perfetto (diagramma sforzi-deformazioni di tipo bilatero). Essa presenta una resistenza crescente al crescere degli spostamenti fino a che l'entità degli spostamenti si mantiene al di sotto di un certo spostamento limite,  $X_{\max}$  oppure fino a quando non si raggiunge il valore della pressione limite. Superato tale limite non si ha un incremento di resistenza. E' evidente che assumendo un comportamento di questo tipo ci si addentra in un tipico problema non lineare che può essere risolto solo mediante una analisi al passo. Questa modellazione presenta il notevole vantaggio di poter schematizzare tutti quei comportamenti individuati da Broms e che sarebbe impossibile trattare in un modello numerico. In particolare risulta automatico analizzare casi in cui si ha insufficiente portanza non per rottura del palo ma per rottura del terreno (vedi il caso di un palo molto rigido in un terreno molle).

#### Determinazione degli scarichi sul palo.

Gli scarichi sui pali vengono determinati mediante il metodo delle rigidezze.

La piastra di fondazione viene considerata infinitamente rigida (3 gradi di libertà) ed i pali vengono considerati incastrati o incernierati (la scelta del vincolo viene fatta dall'Utente nella tabella CARATTERISTICHE del sottomenu PALI) a tale piastra.

Viene effettuata una prima analisi di ogni palo di ciascuna fila (i pali di ogni fila hanno le stesse caratteristiche) per costruire una curva carichi-spostamenti del palo. Questa curva viene costruita considerando il palo elastico. Si tratta, in definitiva, della matrice di rigidezza del palo  $K_e$ , costruita imponendo traslazioni e rotazioni unitarie per determinare le corrispondenti sollecitazioni in testa al palo.

Nota la matrice di rigidezza di ogni palo si assembla la matrice globale (di dimensioni  $3 \times 3$ ) della palificata,  $K$ .

A questo punto, note le forze agenti in fondazione (N, T, M) si possono ricavare gli spostamenti della piastra (abbassamento, traslazione e rotazione) e le forze che si scaricano su ciascun palo. Infatti indicando con  $p$  il vettore dei carichi e con  $u$  il vettore degli spostamenti della piastra abbiamo:

$$u = K^{-1}p$$

Noti gli spostamenti della piastra, e quindi della testa dei pali, abbiamo gli scarichi su ciascun palo. Allora per ciascun palo viene effettuata un'analisi elastoplastica incrementale (tramite il metodo degli elementi finiti) che, tenendo conto della plasticizzazione del terreno, calcola le sollecitazioni in tutte le sezioni del palo.

Se, le caratteristiche del terreno (rappresentate da  $K_h$ ) sono tali che se non è possibile raggiungere l'equilibrio si ha collasso per 'rottura' del terreno.

## Dati

### Materiali

#### Simbologia adottata

n°	Indice materiale
Descr	Descrizione del materiale
<b>Calcestruzzo armato</b>	
C	Classe di resistenza del cls
A	Classe di resistenza dell'acciaio
$\gamma$	Peso specifico, espresso in [kg/mc]
$R_{ck}$	Resistenza caratteristica a compressione, espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
E	Modulo elastico, espresso in [kg/cm <sup>2</sup> ]
$\nu$	Coeff. di Poisson
n	Coeff. di omogenizzazione acciaio/cls
ntc	Coeff. di omogenizzazione cls teso/compresso

#### Calcestruzzo armato

n°	Descr	C	A	$\gamma$	$R_{ck}$	E	$\nu$	n	ntc
				[kg/mc]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]			
6	C25/30	C25/30	B450C	2500,00	305,91	320666	0.30	15.00	0.50

#### Acciai

Descr	$f_{yk}$	$f_{uk}$
	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
B450C	4588,00	5506,00

### Tipologie pali

#### Simbologia adottata

n°	Indice tipologia palo
Descr	Descrizione tipologia palo
P	Contributo portanza palo (laterale e/o punta)
T	Tecnologia costruttiva (trivellato, infisso o elica continua)
V	Vincolo palo-fondazione: Cerniera o Incastro (libero o impedito di ruotare in testa)
Imat	Indice materiale che lo costituisce
BD	usa metodo di Bustamante-Doix
PN	Portanza nota
Pp, PI	Portanza di punta e laterale caratteristica, espressa in [kg]

n°	Descr	P	T	V	Imat	BD	PN	Pp	PI
1	Tipologia 1	Laterale + Punta	Trivellato	Incastro	6	NO	NO	--	--

### Geometria profilo terreno a monte del muro

#### Simbologia adottata

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n°	numero ordine del punto
X	ascissa del punto espressa in [m]
Y	ordinata del punto espressa in [m]
A	inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	0,00	0,00	0.000
2	5,10	0,20	2.246
3	11,10	0,20	0.000
4	11,90	0,20	0.000
5	30,00	0,20	0.000

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 5.000 [°]

### Falda

#### Simbologia adottata

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n°	numero ordine del punto
X	ascissa del punto espressa in [m]
Y	ordinata del punto espressa in [m]
A	inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	-4,00	-3,50	0.000
2	2,60	-3,30	1.736
3	7,40	-3,00	3.576
4	13,60	-2,70	2.770
5	16,96	-2,40	5.095
6	20,00	-2,10	5.645
7	25,00	-1,80	3.434

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
8	29,99	-1,50	3.434
9	30,00	-1,50	3.434
10	30,00	-1,50	3.434
11	30,00	-1,50	3.434

## Geometria muro

### Geometria paramento e fondazione

Lunghezza muro 12,00 [m]

#### Paramento

Materiale C25/30  
 Altezza paramento 3,00 [m]  
 Altezza paramento libero 4,40 [m]  
 Spessore in sommità 0,30 [m]  
 Spessore all'attacco con la fondazione 0,50 [m]  
 Inclinazione paramento esterno 3,90 [°]  
 Inclinazione paramento interno 0,00 [°]

#### Fondazione

Materiale C25/30  
 Lunghezza mensola di valle 1,75 [m]  
 Lunghezza mensola di monte 1,75 [m]  
 Lunghezza totale 4,00 [m]  
 Inclinazione piano di posa 0,00 [°]  
 Spessore 1,40 [m]  
 Spessore magrone 0,15 [m]

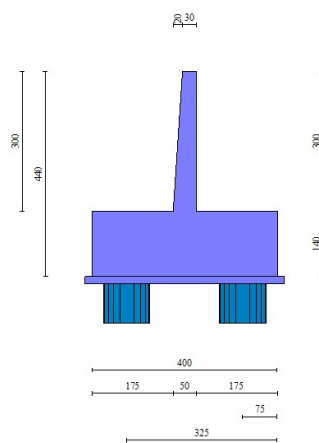


Fig. 1 - Sezione quotata del muro

### Descrizione pali di fondazione

#### Simbologia adottata

n° numero d'ordine della fila  
 X ascissa della fila misurata dallo spigolo di monte della fondazione espressa in [m]  
 I interasse tra i pali, espressa in [m]  
 f franco laterale (distanza minima dal bordo laterale), espressa in [m]  
 Np Numero di pali della fila  
 D diametro dei pali della fila espresso in [cm]  
 L lunghezza dei pali della fila espressa in [m]  
 α inclinazione dei pali della fila rispetto alla verticale espressa in [°]  
 ALL allineamento dei pali della fila rispetto al baricentro della fondazione (CENTRATI o SFALSATI)

n°	Tipologia	X [m]	I [m]	f [m]	Np	D [cm]	L [m]	α [°]	ALL
1	Tipologia 1	0,75	2,50	0,50	4	100,00	22,10	0,00	Sfalsati
2	Tipologia 1	3,25	2,50	0,50	5	100,00	22,10	0,00	Centrati



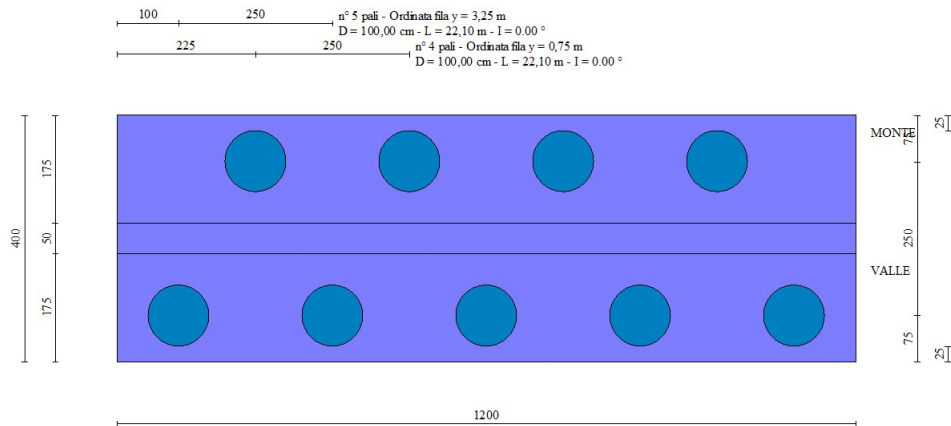


Fig. 2 - Pianta pali

## Descrizione terreni

### Parametri di resistenza

#### Simbologia adottata

n°	Indice del terreno
Descr	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
$\gamma_s$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
$\phi$	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
$c_a$	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix

Cesp	Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
$\tau_l$	Tensione tangenziale limite, espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

n°	Descr	$\gamma$ [kg/mc]	$\gamma_{sat}$ [kg/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]	$c_a$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	Cesp	$\tau_l$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	
1	Terreno di natura limoso sabbiosa con diffuso ciotolame	1800,00	2200,00	16.000	10.667	0,00	0,00	1.000	0,00	(CAR)
				15.000	10.000	0,00	0,00		0,00	(MIN)
				16.000	10.667	0,00	0,00		0,00	(MED)
2	Arenarie a grane medie e grossolane alternate a marne siltose	1900,00	2000,00	28.000	18.667	0,60	0,30	1.000	0,00	(CAR)
				27.000	18.000	0,50	0,25		0,00	(MIN)
				28.000	18.667	0,60	0,30		0,00	(MED)

## Stratigrafia

### Simbologia adottata

n°	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
$\alpha$	Inclinazione espressa in [°]
Terreno	Terreno dello strato
Kwn, Kwt	Costante di Winkler normale e tangenziale alla superficie espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm

Per calcolo pali (solo se presenti)

Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm
Ks	Coefficiente di spinta
Cesp	Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

Per calcolo della spinta con coeff. di spinta definiti (usati solo se attiva l'opzione 'Usa coeff. di spinta da strato')

$K_{st,sta}$ , $K_{st,sis}$	Coeff. di spinta statico e sismico
-----------------------------	------------------------------------

n°	H [m]	$\alpha$ [°]	Terreno	Kwn [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Kwt [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Kw [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Ks	Cesp	$K_{st,sta}$	$K_{st,sis}$
1	13,50	3.000	Terreno di natura limoso sabbiosa con diffuso ciotolame	0.000	0.000	1.000	0,500	1.000	---	---
2	20,00	0.000	Arenarie a grane medie e grossolane alternate a marne siltose	0.000	0.000	3.000	0,530	1.000	---	---

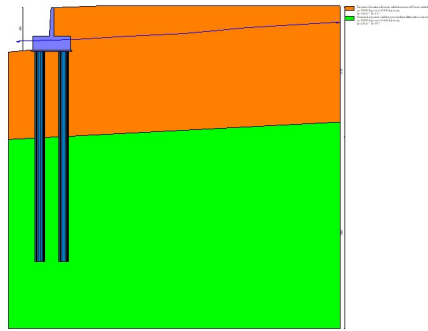


Fig. 3 - Stratigrafia

### Condizioni di carico

#### Simbologia adottata

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

$X$	Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
$F_x$	Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kg]
$F_y$	Componente verticale del carico concentrato espressa in [kg]
$M$	Momento espresso in [kgm]
$X_i$	Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
$X_f$	Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
$Q_i$	Intensità del carico per $x=X_i$ espressa in [kg]
$Q_f$	Intensità del carico per $x=X_f$ espressa in [kg]

#### Condizione n° 1 (Traffico) - VARIABILE TF

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.00$  -  $\Psi_1=0.75$  -  $\Psi_2=0.00$

#### Carichi sul terreno

n°	Tipo	X [m]	$F_x$ [kg]	$F_y$ [kg]	M [kgm]	$X_i$ [m]	$X_f$ [m]	$Q_i$ [kg]	$Q_f$ [kg]
1	Distribuito					5,10	11,10	2000,00	2000,00

### Normativa

Normativa usata: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 (D.M. 17.01.2018) + Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7**

#### Coeff. parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Carichi	Effetto		Combinazioni statiche				Combinazioni sismiche		
			UPL	EQU	A1	A2	EQU	A1	A2
Permanenti strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G1,fav}$	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G1,sfav}$	1.10	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G2,fav}$	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00
Permanenti non strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G2,sfav}$	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevoli	$\gamma_{Q,fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevoli	$\gamma_{Q,sfav}$	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevoli	$\gamma_{OT,fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevoli	$\gamma_{OT,sfav}$	1.50	1.35	1.35	1.15	1.00	1.00	1.00

#### Coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro		Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan(\phi')}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	$\gamma_c$	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40	1.00	1.00
Peso nell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	1.00	1.00	1.00	1.00

#### Coeff. parziali $\gamma_R$ per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Capacità portante	--	--	1.40	--	--	1.20
Scorrimento	--	--	1.10	--	--	1.00
Resistenza terreno a valle	--	--	1.40	--	--	1.20
Ribaltamento	--	--	1.15	--	--	1.00
Stabilità fronte di scavo	--	1.10	--	--	1.20	--

Carichi verticali. Coeff. parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza		Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Punta	$\gamma_b$	--	--	1.15	--	--	1.35	--	--	1.30
Laterale compressione	$\gamma_s$	--	--	1.15	--	--	1.15	--	--	1.15
Totale compressione	$\gamma_t$	--	--	1.15	--	--	1.30	--	--	1.25
Laterale trazione	$\gamma_{st}$	--	--	1.25	--	--	1.25	--	--	1.25

Carichi trasversali. Coeff. parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche

		R1	R2	R3
Trasversale	$\gamma_t$	--	--	1.30

Coefficienti di riduzione  $\zeta$  per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate 1

$\zeta_3=1.70$   $\zeta_4=1.70$

Descrizione combinazioni di carico

Con riferimento alle azioni elementari prima determinate, si sono considerate le seguenti combinazioni di carico:

- Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} Q_{k2} + \gamma_{Q3} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \Psi_{0,2} Q_{k2} + \Psi_{0,3} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{1,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione quasi permanente, impiegata per gli effetti di lungo periodo:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{2,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + \Psi_{2,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + \dots$$

I valori dei coeff.  $\Psi_{0,j}$ ,  $\Psi_{1,j}$ ,  $\Psi_{2,j}$  sono definiti nelle singole condizioni variabili.

I valori dei coeff.  $\gamma_G$  e  $\gamma_{Qj}$  sono definiti nella tabella normativa.

In particolare si sono considerate le seguenti combinazioni:

Simbologia adottata

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione  
 $\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Traffico	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.15	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - SLER

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - SLEF

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.75	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - SLEQ

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - SLEQ H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - SLEQ H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - HYD

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 13 - UPL

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	0.90	--	Favorevole
Peso terrapieno	0.90	--	Favorevole
Spinta terreno	1.10	--	Sfavorevole
Traffico	1.50	1.00	Sfavorevole

Dati sismici

Comune	Stigliano
Provincia	Matera
Regione	Basilicata
Latitudine	40.375568
Longitudine	16.318108
Indice punti di interpolazione	35008 - 35230 - 35231 - 35009
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	III



Condizioni ambientali Ordinarie  
Armatura ad aderenza migliorata SI

#### Verifica a fessurazione

Sensibilità armatura Poco sensibile  
Metodo di calcolo aperture delle fessure NTC 2018 - CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.  
Calcolo momento fessurazione Formazione  
Resistenza a trazione per Flessione  
Valori limite aperture delle fessure:  
 $w_1=0.20$   
 $w_2=0.30$   
 $w_3=0.40$

#### Verifica delle tensioni

Valori limite delle tensioni nei materiali:

Combinazione	Calcestruzzo	Acciaio
Rara	$0.60 f_{ck}$	$0.80 f_{yk}$
Frequente	$1.00 f_{ck}$	$1.00 f_{yk}$
Quasi permanente	$0.45 f_{ck}$	$1.00 f_{yk}$

### Pali

Verifiche strutturali nelle combinazioni SLD SI. Struttura in classe d'uso III o IV

Condizioni ambientali Ordinarie  
Armatura ad aderenza migliorata SI

#### Verifica a fessurazione

Sensibilità armatura Poco sensibile  
Metodo di calcolo aperture delle fessure NTC 2018 - CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.  
Calcolo momento fessurazione Apertura  
Resistenza a trazione per Trazione  
Valori limite aperture delle fessure:  
 $w_1=0.20$   
 $w_2=0.30$   
 $w_3=0.40$

#### Verifica delle tensioni

Valori limite delle tensioni nei materiali:

Combinazione	Calcestruzzo	Acciaio
Rara	$0.60 f_{ck}$	$0.80 f_{yk}$
Frequente	$1.00 f_{ck}$	$1.00 f_{yk}$
Quasi permanente	$0.45 f_{ck}$	$1.00 f_{yk}$

## Risultati

### Spinta e forze

#### Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione  
A Tipo azione  
I Inclinazione della spinta, espressa in [°]  
V Valore dell'azione, espressa in [kg]  
 $C_x, C_y$  Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kg]  
 $P_x, P_y$  Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V [kg]	I [°]	$C_x$ [kg]	$C_y$ [kg]	$P_x$ [m]	$P_y$ [m]
2	Spinta statica	9258	10,67	9098	1714	1,75	-2,87
	Incremento di spinta sismica		6730	6614	1246	1,75	-2,17
	Peso/Inerzia muro			4016	17033/2008	-0,24	-3,33
	Peso/Inerzia terrapieno			2253	9558/1127	0,88	-1,48
	Spinta falda da monte			712		1,75	-4,00
	Sottostinta della falda				4059	-0,21	-4,40
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0	0,00	0,00
	Resistenza pali			-24804			

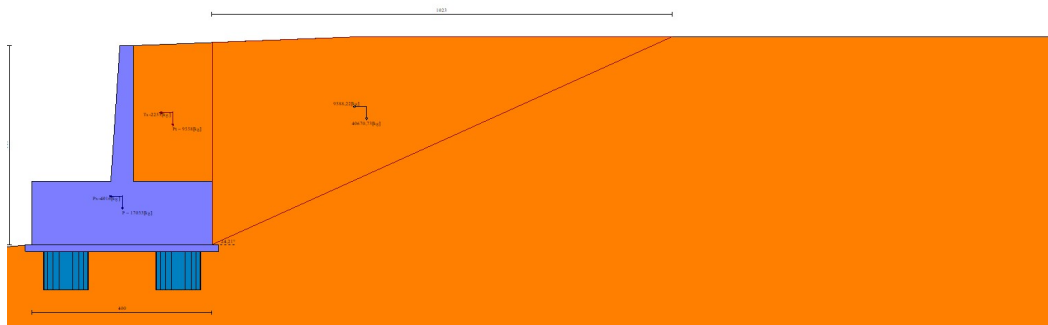


Fig. 4 - Cuneo di spinta (combinazione sismica) (Combinazione n° 2)

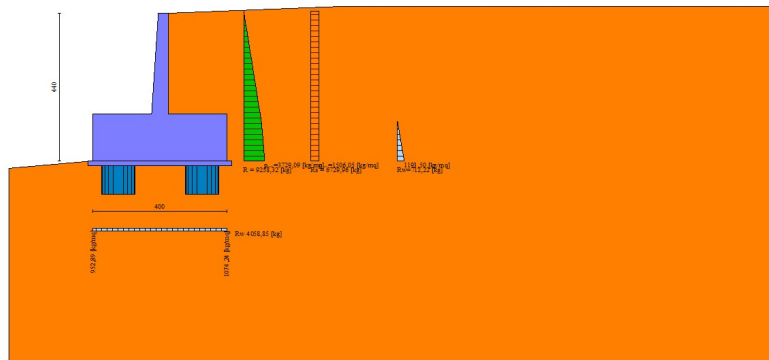


Fig. 5 - Diagramma delle pressioni (combinazione sismica) (Combinazione n° 2)

## Verifiche geotecniche

### Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

#### Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
S	Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
FS <sub>SCO</sub>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
FS <sub>RIB</sub>	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
FS <sub>OLIM</sub>	Coeff. di sicurezza a carico limite
FS <sub>STAB</sub>	Coeff. di sicurezza a stabilità globale
FS <sub>HYD</sub>	Coeff. di sicurezza a sifonamento
FS <sub>UPL</sub>	Coeff. di sicurezza a sollevamento

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>OLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		1.753					
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.093					
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.141					
4 - GEO (A2-M2-R2)					4.117		
5 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				2.421		
6 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				2.216		
12 - HYD						61.363	
13 - UPL							5.854

### Verifiche portanza trasversale (scorrimento)

#### Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
Ip	Indice palo
T	Carico orizzontale agente alla testa del palo, espresso in [kg]
Td	Portanza trasversale di progetto, espresso in [kg]
FS <sub>0</sub>	Fattore di sicurezza (Td/T)

Ic	Ip	T [kg]	Td [kg]	FS <sub>0</sub>
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	-30279	36328	1.200
	2	-30240	30548	1.010

**Verifiche portanza verticale****Simbologia adottata**

Ic	Indice/Tipo combinazione
Ip	Indice palo
N	Carico verticale agente alla testa del palo, espresso in [kg]
Pd	Portanza di progetto, espresso in [kg]
FS <sub>v</sub>	Fattore di sicurezza (Pd/N)

Ic	Ip	N [kg]	Pd [kg]	FS <sub>v</sub>
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	-49144	145182	2.954
	2	108017	280076	2.593
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	-57706	145182	2.516
	2	99550	280076	2.813

**Dettagli calcolo portanza verticale****Simbologia adottata**

n°	Indice palo
Nc, Nq	Coeff. di capacità portante
N'c, N'q	Coeff. di capacità portante corretti
Zc	Massima profondità andamento pressione geostatica, espressa in [m]
Pp, Pl	Portanza di punta e laterale caratteristica, espresse in [kg]
A	Attrito negativo, espresso in [kg]
Wp	Peso palo, espresso in [kg]

n°	Nc	N'c	Nq	N'q	Zc [m]	Pp [kg]	Pl [kg]	A [kg]	Wp [kg]
1	25.803	60.459	14.720	18.457	--	592158 490263	241616 216300	0	43393
2	25.803	60.459	14.720	18.457	--	591968 490093	239998 214896	0	43393

**Verifica stabilità globale muro + terreno****Simbologia adottata**

Ic	Indice/Tipo combinazione
C	Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
R	Raggio, espresso in [m]
FS	Fattore di sicurezza

Ic	C [m]	R [m]	FS
6 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-3,57; 3,57	30,42	2.216

**Dettagli strisce verifiche stabilità****Simbologia adottata**

Le ascisse X sono considerate positive verso monte	
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto	
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)	
W	peso della striscia espresso in [kg]
Q <sub>y</sub>	carico sulla striscia espresso in [kg]
Q <sub>f</sub>	carico acqua sulla striscia espresso in [kg]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
T <sub>x</sub> ; T <sub>y</sub>	Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kg/cmq]

**Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2) H - V**

n°	W [kg]	Qy [kg]	Qf [kg]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]	u [kg/cm <sup>2</sup> ]	Tx; Ty [kg]
1	19169	0	0	26,67 - 2,35	74.996	16.000	0,00	0,241	
2	48464	0	0	2,35	61.787	16.000	0,00	0,885	
3	65766	0	0	2,35	53.385	28.000	0,60	1,248	
4	78938	0	0	2,35	46.455	28.000	0,60	1,510	
5	89361	0	0	2,35	40.334	28.000	0,60	1,711	
6	97806	0	0	2,35	34.733	28.000	0,60	1,871	
7	104703	0	0	2,35	29.494	28.000	0,60	2,007	
8	110292	0	0	2,35	24.515	28.000	0,60	2,116	
9	114735	0	0	2,35	19.729	28.000	0,60	2,199	
10	118009	0	0	2,35	15.082	28.000	0,60	2,258	
11	120903	0	0	2,35	10.536	28.000	0,60	2,299	
12	118121	0	0	2,35	6.057	28.000	0,60	2,326	
13	105465	0	1230	2,35	1.615	28.000	0,60	2,335	
14	101938	0	2617	2,35	-2.818	28.000	0,60	2,325	
15	100014	0	2933	2,35	-7.268	28.000	0,60	2,297	
16	97212	0	3249	2,35	-11.762	28.000	0,60	2,251	
17	93495	0	3565	2,35	-16.332	28.000	0,60	2,185	
18	88806	0	3881	2,35	-21.012	28.000	0,60	2,098	
19	83061	0	4197	2,35	-25.845	28.000	0,60	1,989	
20	76132	0	4513	2,35	-30.886	28.000	0,60	1,855	
21	67835	0	4829	2,35	-36.212	28.000	0,60	1,691	
22	57879	0	5145	2,35	-41.934	28.000	0,60	1,492	
23	45780	0	5461	2,35	-48.238	28.000	0,60	1,248	
24	30942	0	5777	2,35	-55.473	16.000	0,00	0,938	



n°	W [kg]	Qy [kg]	Qf [kg]	b [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	c [kg/cm²]	u [kg/cm²]	Tx; Ty [kg]
25	11365	0	6062	-32,10 - 2,35	-64.420	16.000	0,00	0,515	

Resistenza al taglio pali 0 [kg]

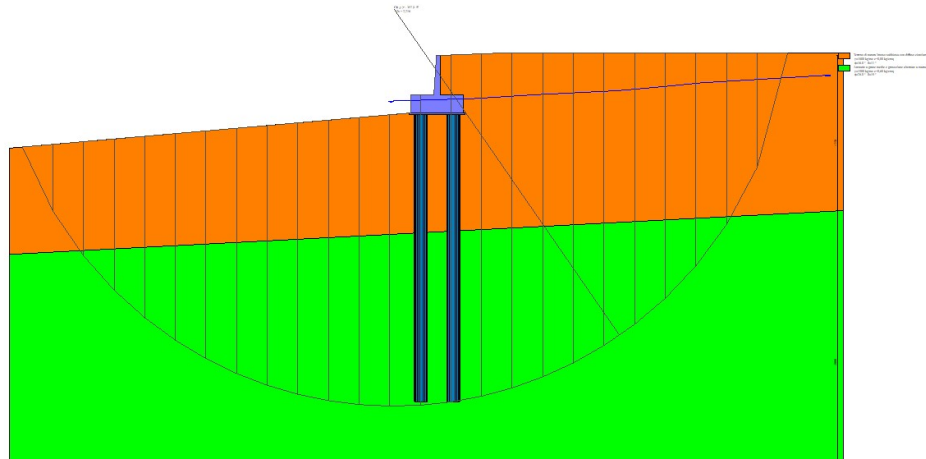


Fig. 6 - Stabilità fronte di scavo - Cerchio critico (Combinazione n° 6)

### Verifica a sifonamento

#### Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
$\Delta H$	perdita di carico, espressa in [m]
L	Lunghezza di filtrazione, espressa in [m]
$\gamma_m$	Peso galleggiamento medio, espressa in [kg/mc]
$i_c$	gradiente idraulico critico
$i_e$	gradiente idraulico di efflusso
FS	Fattore di sicurezza a sifonamento (rapporto tra $i_c/i_e$ )

Ic	$\Delta H$ [m]	L [m]	$\gamma_m$ [kg/mc]	$i_c$	$i_e$	FS
12	0,24	2,53	5839,46	5.839	0.095	61.363

### Verifica a sollevamento

#### Simbologia adottata

As	Azione stabilizzante, espressa in [kg]
Ai	Azione instabilizzante, espressa in [kg]
Rp	Resistenza di progetto, espressa in [kg]
FS	Fattore di sicurezza a sollevamento (rapporto tra As/Ai)

Ic	As [kg]	Ai [kg]	FS
13	26136	4465	5.854

### Spostamenti

#### Simbologia adottata

Cmb	Tipo combinazione
Modello a blocchi	
X	Spostamento in direzione X (positivo verso monte), espresso in [cm]
Y	Spostamento in direzione Y (positivo verso l'alto), espresso in [cm]
Phi	Rotazione (positiva antioraria), espresso in [°]

#### Spostamenti ottenuti con il modello a blocchi

Cmb	X [cm]	Y [cm]	Phi [°]
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	-1,29454	-0,04656	0,05737
9 - SLEQ	-0,39797	-0,04781	0,01474
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	-1,26518	-0,03301	0,05739

Verifiche strutturali

*Verifiche a flessione*

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n°	indice sezione
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori espresso in [cmq]
Afs	area ferri superiori espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kgm]
N	sforzo normale agente espressa in [kg]
Mrd	momento resistente espresso in [kgm]
Nrd	sforzo normale resistente espresso in [kg]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

Elementi calcolati a piastra

Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Afi, Afs	area ferri inferiori e superiori, espresso in [cmq]
Mp, Mn	momento positivo e negativo agente espressa in [kgm]
Mrd	momento resistente espresso in [kgm]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

Oggetto	Is	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	M [kgm]	N [kg]	Mu [kgm]	Nu [kg]	FS
Paramento	32	100	50	8,04	16,08	10077	3373	30364	10163	3.013
Piastra fondazione	14-5-S	100	140	20,11	20,11			-107119		2.626
Palo c.a. 1	1	100		76,03		70204	-57706	88071	-72393	1.255
Palo c.a. 2	1	100		62,83		73072	108017	147125	217485	2.013

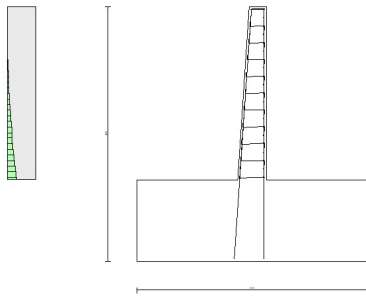


Fig. 7 - Paramento (Inviluppo)

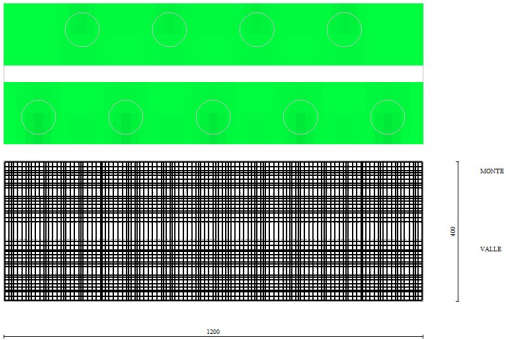


Fig. 8 - Piastra fondazione dir. X (Inviluppo)

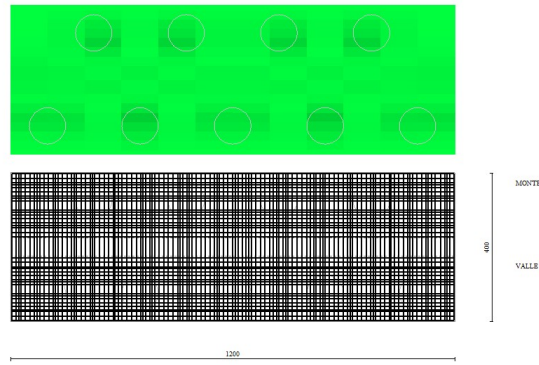


Fig. 9 - Piastra fondazione dir. Y (Inviluppo)

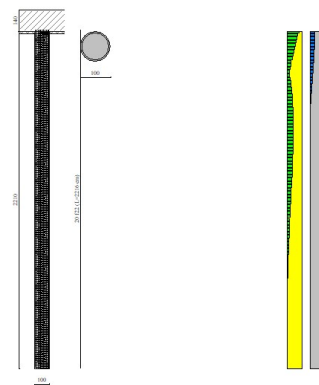


Fig. 10 - Pali (Palo n° 1) (Inviluppo)

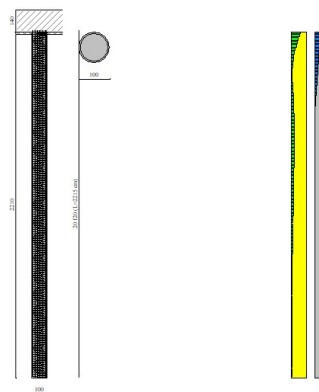


Fig. 11 - Pali (Palo n° 2) (Inviluppo)

### Verifiche a taglio

#### Simbologia adottata

n° (o Is)	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espressa in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
A <sub>sw</sub>	area ferri a taglio espressa in [cmq]
cotgθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
V <sub>Rcd</sub>	resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kg]
V <sub>Rsd</sub>	resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kg]
V <sub>Rd</sub>	resistenza di progetto a taglio espressa in [kg]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A <sub>sw</sub> >0.0) V <sub>Rd</sub> =min(V <sub>Rcd</sub> , V <sub>Rsd</sub> ).
T	taglio agente espressa in [kg]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

La verifica a taglio sui pali circolari in c.a. viene eseguita considerando una sezione quadrata inscritta nella circonferenza. Se D è il diametro del palo, il lato della sezione quadrata sulla quale si esegue la verifica è  $L = 2^{0.5}/2 D$ .

Oggetto	Is	B [cm]	H [cm]	A <sub>sw</sub> [cmq]	cotθ	V <sub>Rcd</sub> [kg]	V <sub>Rsd</sub> [kg]	V <sub>Rd</sub> [kg]	T [kg]	FS
Paramento	32	100	50	0,00		0	0	22941	8294	2.766
Piastra fondazione	1-1-P	88	140	0,00		0	0	0	0	100.000
Palo 1	1	71		226,19	2.500	103807	88947	88947	30279	2.938
Palo 2	1	71		226,19	2.500	118162	88947	88947	30240	2.941

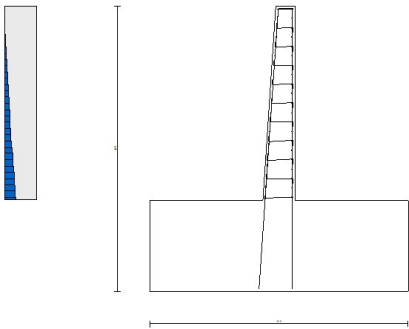


Fig. 12 - Paramento (Inviluppo)

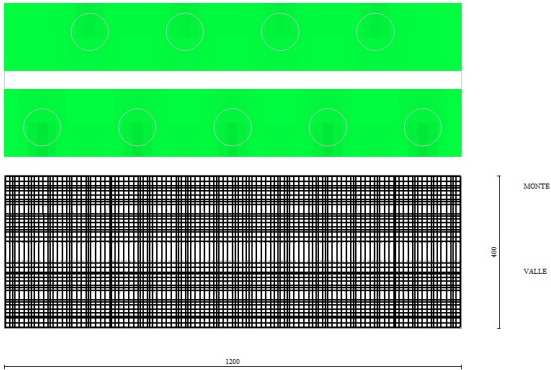


Fig. 13 - Piastra fondazione dir. X (Inviluppo)

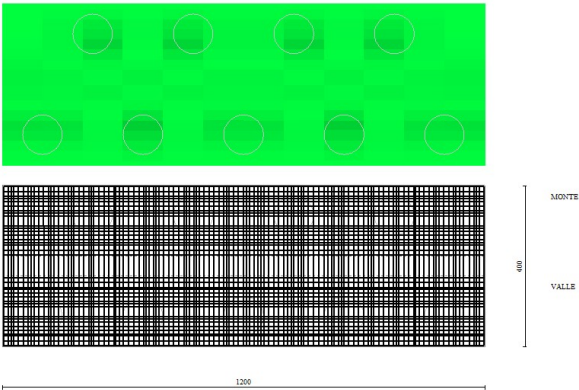


Fig. 14 - Piastra fondazione dir. Y (Inviluppo)

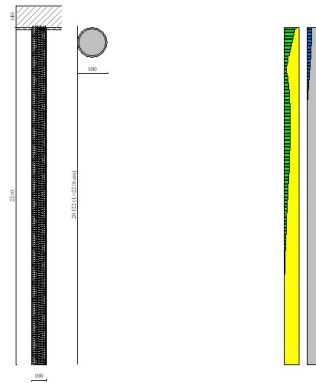


Fig. 15 - Pali (Palo n° 1) (Inviluppo)

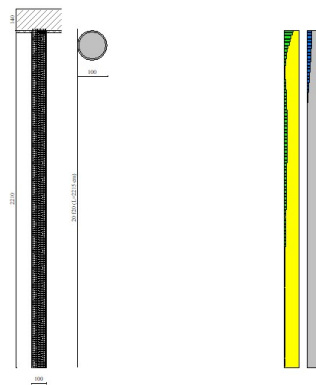


Fig. 16 - Pali (Palo n° 2) (Inviluppo)

### Verifica delle tensioni

#### Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione, espressa in [m]
B	larghezza sezione, espressa in [cm]
H	altezza sezione, espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori, espressa in [cmq]
Afs	area ferri superiori, espressa in [cmq]
M	momento agente, espressa in [kgm]
N	sforzo normale agente, espressa in [kg]
$\sigma_c$	tensione di compressione nel cls, espressa in [kg/cmq]
$\sigma_{fi}$	tensione nei ferri inferiori, espressa in [kg/cmq]
$\sigma_{fs}$	tensione nei ferri superiori, espressa in [kg/cmq]

### Combinazioni SLER

Oggetto	Is	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	$\sigma_c$ [kg/cmq]	$\sigma_{c,lim}$ [kg/cmq]	$\sigma_{fi}$ [kg/cmq]	$\sigma_{fs}$ [kg/cmq]	$\sigma_{f,lim}$ [kg/cmq]
Paramento	32	100	50	8,04	16,08	14,45	152,34	512,89	157,27	3670,40
Piastra fondazione	9-5-S	100	140	20,11	20,11	10,33	152,34	135,28	742,67	3670,40
Piastra fondazione	11-11-S	100	140	20,11	20,11	3,29	152,34	236,71	43,12	3670,40
Palo c.a. 1	1	100		76,03		52,93	152,34	1623,01		3670,40
Palo c.a. 2	1	100		62,83		55,06	152,34	1074,66		3670,40

### Combinazioni SLEF

Oggetto	Is	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	$\sigma_c$ [kg/cmq]	$\sigma_{c,lim}$ [kg/cmq]	$\sigma_{fi}$ [kg/cmq]	$\sigma_{fs}$ [kg/cmq]	$\sigma_{f,lim}$ [kg/cmq]
Paramento	32	100	50	8,04	16,08	14,45	253,91	512,89	157,27	4588,00
Piastra fondazione	9-5-S	100	140	20,11	20,11	9,91	253,91	129,75	712,35	4588,00
Piastra fondazione	11-11-S	100	140	20,11	20,11	3,21	253,91	231,10	42,09	4588,00
Palo c.a. 1	1	100		76,03		50,79	253,91	1531,08		4588,00
Palo c.a. 2	1	100		62,83		52,76	253,91	1019,65		4588,00

**Combinazioni SLEQ**

Oggetto	Is	B [cm]	H [cm]	Afi [cmq]	Afs [cmq]	$\sigma_c$ [kg/cmq]	$\sigma_{c,lim}$ [kg/cmq]	$\sigma_{ti}$ [kg/cmq]	$\sigma_{fs}$ [kg/cmq]	$\sigma_{f,lim}$ [kg/cmq]
Paramento	32	100	50	8,04	16,08	21,28	114,26	797,82	228,07	4588,00
Piastra fondazione	9-5-S	100	140	20,11	20,11	12,18	114,26	159,54	875,87	4588,00
Piastra fondazione	6-8-S	100	140	20,11	20,11	3,43	114,26	246,42	44,89	4588,00
Palo c.a. 1	1	100		76,03		62,61	114,26	2174,99		4588,00
Palo c.a. 2	1	100		62,83		65,48	114,26	1292,54		4588,00

**Verifica a fessurazione**

## Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Af	area ferri zona tesa espresso in [cmq]
Aeff	area efficace espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kgm]
Mpf	momento di formazione/apertura fessure espressa in [kgm]
$\varepsilon$	deformazione espresso in %
Sm	spaziatura tra le fessure espressa in [mm]
w	apertura delle fessure espressa in [mm]

**Combinazioni SLEF**

Oggetto	Is	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kgm]	Mpf [kgm]	$\varepsilon$ [%]	Sm [mm]	w [mm]	w <sub>lim</sub> [mm]
Paramento	32	100	50	16,08	950,00	4094	13248	0.000000	0	0,000	0,400
Piastra fondazione	9-5-S	100	140	20,11	950,00	-18620	-95061	0.000000	0	0,000	0,400
Palo 1	100	100		19,01	1385,55	-2	25658	0.000000	0	0,000	0,400
Palo 2	100	100		15,71	980,79	-2	33846	0.000000	0	0,000	0,400

**Combinazioni SLEQ**

Oggetto	Is	B [cm]	H [cm]	Af [cmq]	Aeff [cmq]	M [kgm]	Mpf [kgm]	$\varepsilon$ [%]	Sm [mm]	w [mm]	w <sub>lim</sub> [mm]
Paramento	32	100	50	16,08	950,00	6077	13261	0.000000	0	0,000	0,300
Piastra fondazione	9-5-S	100	140	20,11	950,00	-24585	-95061	0.000000	0	0,000	0,300
Palo 1	100	100		19,01	981,41	-3	34038	0.000000	0	0,000	0,300
Palo 2	100	100		15,71	935,87	-3	34846	0.000000	0	0,000	0,300

## Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

### Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

#### Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.
- Calcolo della portanza assiale e trasversale dei pali. Progetto e verifica delle armature dei pali inseriti.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del D.M. 17/01/2018.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

### Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	MAX - Analisi e Calcolo Muri di Sostegno
Versione	16.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - loc. Casole Bruzio (CS)
Utente	Ing. Durso Francesco
Licenza	AIU4461TQ

### Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

### Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

### Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

### Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Stigliano, giugno 2022

Il progettista

( Ing Francesco DURSO )

