



## ASSE VIARIO MARCHE – UMBRIA E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA MAXI LOTTO 2

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:  
SS. 318 DI “VALFABBRICA”. TRATTO PIANELLO – VALFABBRICA  
SS. 76 “VAL D’ESINO”. TRATTI FOSSATO VICO – CANCELLI E ALBACINA – SERRA SAN QUIRICO  
“PEDEMONTANA DELLE MARCHE”, TRATTO FABRIANO – MUCCIA – SFERCIA

### PROGETTO DEFINITIVO

<b>CONTRAENTE GENERALE:</b>  	<i>Il responsabile del Contraente Generale:</i>  Ing. Federico Montanari	<i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i>  Ing. Salvatore Lieto
--	--	---

<b>PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese</b> Mandataria: Mandanti:			
			

RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER I*ATI  Ing. Antonio Grimaldi  GEOLOGO Dott. Geol. Fabrizio Pontoni  COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Ing. Michele Curiale			
---	---	--	---

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  Ing. Giulio Petrizzelli		
---	--	--

<b>2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b> 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia  <b>OPERE D’ARTE MINORI:</b> Tipologici Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratie di pali)	SCALA:  DATA:  <p style="text-align: center;">Maggio 2017</p>
--	---

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (Assegnato CIPE 23-12-2015)

Codice Elaborato:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
	L 0 7 0 3	2 1 3	E	1 6	M U 0 0 0 0	R E L	0 2	A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto	Controllato	Approvato
A	Maggio 2017	Emissione per stralcio funzionale	PROGIN	S. Lieto	A. Grimaldi

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	3
<b>2. UNITA' DI MISURA.....</b>	<b>4</b>
<b>3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
3.1 ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	5
<b>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>6</b>
<b>5. CARATTERIZZAZIONE E CRITERI DI PROGETTAZIONE GEOTECNICA... 7</b>	<b>7</b>
5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO .....	7
5.2 MODELLO GEOTECNICO DI PROGETTO .....	8
<b>6. DEFINIZIONE AZIONE SISMICA .....</b>	<b>9</b>
<b>7. VERIFICHE E STATI LIMITE.....</b>	<b>11</b>
7.1 VERIFICHE ALLO SLU .....	11
7.1.1 Pressoflessione .....	11
7.1.2 Taglio .....	12
7.2 VERIFICHE ALLO SLE .....	14
7.3 VERIFICHE DI FESSURAZIONE .....	14
<b>8. COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>15</b>
<b>9. VERIFICHE GEOTECNICHE DI STABILITA' LOCALE .....</b>	<b>18</b>
<b>10. CRITERI GENERALI DI ANALISI DI PARATIE DI SOSTEGNO.....</b>	<b>19</b>
10.1 METODOLOGIA DI CALCOLO .....	19
10.2 COEFFICIENTI DI SPINTA.....	21
10.2.1 Coefficienti ed Incremento di Spinta in Fase Statica .....	21
10.2.2 Coefficienti ed Incremento di Spinta in Fase Sismica .....	23
10.2.3 Coefficienti di attrito struttura-terreno .....	25
10.3 EFFETTI DELL'AZIONE SISMICA SU MASSE E CARICHI .....	25
10.4 EFFETTI DELL'AZIONE SISMICA SULLA FALDA .....	28
<b>11. ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO .....</b>	<b>28</b>
<b>12. RISULTATI ANALISI E FASI DI CALCOLO.....</b>	<b>29</b>
12.1 CRITERI DI ANALISI E FASI DI CALCOLO .....	29
12.2 SOLLECITAZIONI, SFORZI E DEFORMAZIONI .....	31
12.3 SINTESI RISULTATI .....	33
12.4 VERIFICA STRUTTURALE PARATIA .....	34
<b>ALLEGATO .....</b>	<b>35</b>
<b>TABULATI.....</b>	<b>35</b>
dati generali.....	36

## 1. PREMESSA

La presente relazione viene emessa nell'ambito del Progetto Definitivo della strada Pedemontana Marchigiana, che costituisce l'elemento di completamento tra le due direttrici "S.S.76" Vallesina e "S.S.77" Val di Chienti, con riferimento ai seguenti stralci funzionali:

3° stralcio funzionale: compreso tra lo svincolo di Castelraimondo nord e lo svincolo di Castelraimondo sud;

4° stralcio funzionale: compreso tra lo svincolo di Castelraimondo sud e l'innesto con la S.S. 77 a Muccia.

Gli stralci funzionali di cui sopra rientrano nell'ambito degli interventi di completamento della Pedemontana delle Marche definiti e finanziati nella Delibera CIPE 64/2016 - "Aggiornamento del quadro infrastrutturale della delibera n. 13/2004".

Nella presente relazione vengono riportate le analisi e le verifiche strutturali e geotecniche relative alle paratie di pali  $\phi 1500$  in c.a.

### 1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Le paratie presenti lungo le tratte in esame sono costituite da pali allineati in c.a.  $\phi 1500$  disposti ad interasse di 1,7m. Nei successivi paragrafi saranno condotte le verifiche strutturali e geotecniche della sezione di paratia che presenta l'altezza di scavo massima pari a 6m situata in prossimità di Camerino Sud (pk. 12+200 circa).

La paratia in esame presenta la seguente configurazione geometrica tipo:

Dp(m)	i (m)	$\alpha^\circ$	Lp (m)	hc(m)	Hs(m)
1.50	2.80	33	18.0	1.2	6.5

Dove:

$\alpha$ : Inclinazione pendio di monte

Dp: Diametro pali

i : interasse pali

Lp: Lunghezza pali (da intradosso cordolo)

hc: Altezza cordolo

Hs: Altezza scavo massima (da testa cordolo)



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte minori: Tipologici

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 4 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

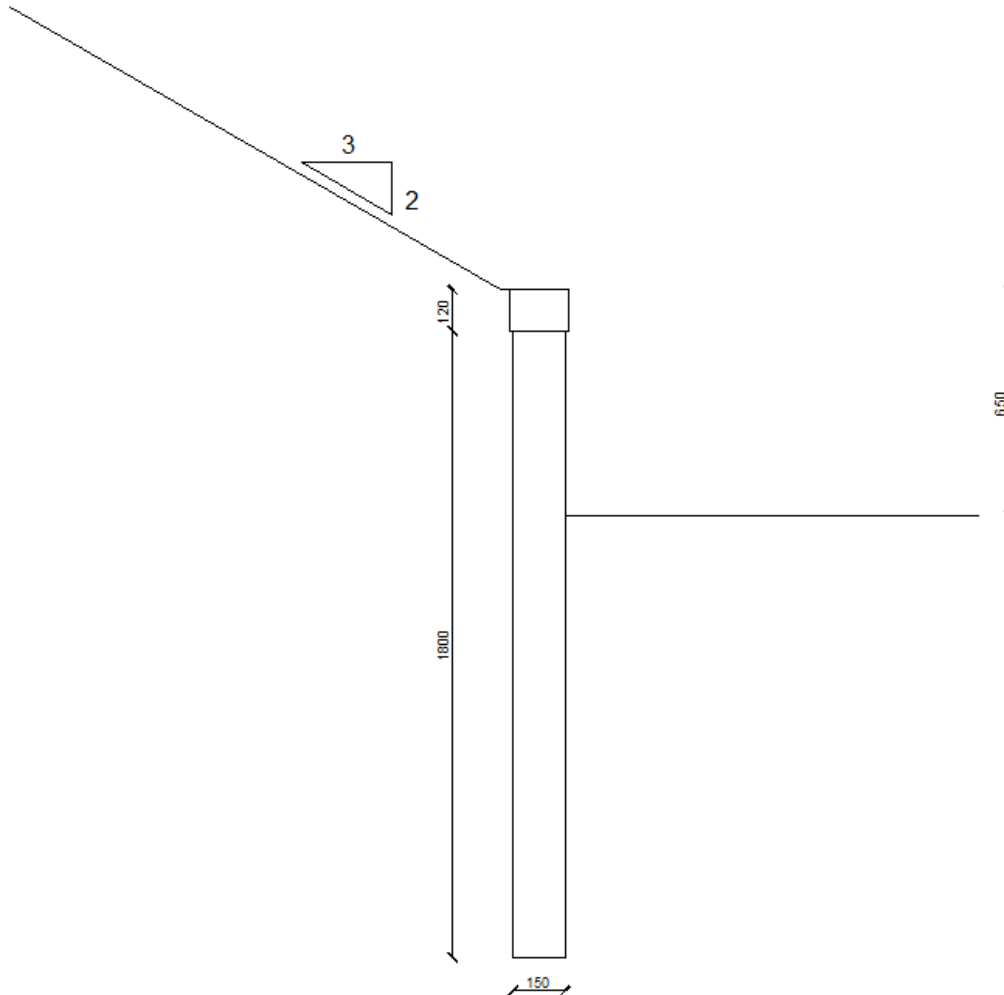


Figura 1 - Sezione Trasversale Paratia

Per ulteriori approfondimenti si rimanda agli elaborati grafici di riferimento.

## 2. UNITA' DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per le lunghezze ⇒ m, mm
- per i carichi ⇒ kN, kN/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>3</sup>
- per le azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- per le tensioni ⇒ MPa, kPa

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella redazione del progetto esecutivo si è fatto riferimento ai seguenti documenti normativi.

- D.M. 14/01/2008.  
*Norme tecniche per le costruzioni (NTC).*
- Circolare del 02/02/2009.  
*Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14/01/2008.*
- UNI EN1993 -1-1.  
*EUROCODICE 2, parte 1.1. Progettazione delle strutture in calcestruzzo. Regole generali e regole per gli edifici.*
- UNI EN1993 -1-1.  
*EUROCODICE 3, parte 1.1. Progettazione delle strutture in acciaio. Regole generali e regole per gli edifici.*
- UNI EN1993 -1-2.  
*EUROCODICE 3, Parte 2. Progettazione delle strutture in acciaio. Ponti di acciaio.*
- UNI EN 1998-1.  
*EUROCODICE 8, parte 1. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici*
- UNI EN 1998-2.  
*EUROCODICE 8, parte 2. Ponti.*

#### 3.1 Elaborati di riferimento

Costituiscono parte integrante di quanto esposto nel presente documento, l'insieme degli elaborati di progetto specifici relativi all'opera in esame e riportati in elenco elaborati

#### **4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

Si riportano qui di seguito le caratteristiche prestazionali dei materiali che saranno impiegati per la realizzazione dei rivestimenti definitivi.

##### Calcestruzzo cordolo e paratia di pali

Tipo (secondo UNI EN 206-1):	C32/40
Resistenza cubica caratteristica (t=28 gg):	Rck $\geq$ 40 MPa
Resistenza cilindrica caratteristica (t=28 gg):	fck $\geq$ 32 MPa
Modulo elastico secante:	Ecm = 33'346 MPa
Rapporto massimo acqua / cemento	A/C $\leq$ 0.50

##### Acciaio per cemento armato

Tipo: B 450 C (ex Fe B 44k)	
Tensione caratteristica di rottura a trazione:	ftk $\geq$ 540 MPa
Tensione caratteristica di snervamento:	fyk $\geq$ 450 MPa
Tensione di calcolo ( $\gamma_s=1.15$ ):	fyd = 450 / 1.15 = 391 MPa
Modulo elastico:	E = 210'000 MPa

## **5. CARATTERIZZAZIONE E CRITERI DI PROGETTAZIONE GEOTECNICA**

### **5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO**

La caratterizzazione geologica – geotecnica dei terreni interessati dall'opera in oggetto è stata effettuata mediante l'analisi dei dati ottenuti da prove di laboratorio ed in sito.

L'area del tracciato stradale in oggetto si sviluppa nell'Appennino Umbro-Marchigiano e per tutta la sua estensione ricade interamente nel "Bacino di Camerino", un bacino minore di una più ampia struttura di età miocenica. Le successioni attraversate appartengono al Bacino Marchigiano Interno e le età formazionali sono comprese tra il Turoniano (Scaglia Rossa) e il Messiniano Superiore (Formazione a Colombacci), a queste vanno aggiunti i depositi alluvionali terrazzati, i detriti di versante ed i depositi eluvio colluviali di età pleistocenica-olocenica.

Di seguito si riportano i principali depositi presenti lungo il tracciato:

Depositi eluvio colluviali: depositi a composizione granulometrica variegata ma generalmente a prevalente componente fine limo argillosa; localmente si rinviene sabbia limosa con clasti derivanti dalla disgregazione del substrato roccioso.

Alluvioni: si tratta di deposti alluvionali rinvenibili in corrispondenza dei corsi d'acqua e si distinguono: ghiaie eterometriche ed eterogenee in matrice sabbiosa, sabbie, sabbie debolmente limose, limi argillosi.

Substrato alterato: si tratta di una fascia di spessore variabile costituita da argilla limosa consistente che sovrasta il substrato a carattere da semilitoide a litoide, rappresenta la parte superiore alterata del substrato;

Substrato Pelitico-Arenaceo/Arenaceo-Pelitico (Formazione di Camerino): rappresentata da litofacies pelitico-arenacee e si distingue in funzione del rapporto A/P.

## 5.2 modello geotecnico di progetto

La stratigrafia di progetto prevede uno spessore di coltre eluvio-colluviale variabile tra 5m-10m giacente su substrato della Formazione di Camerino che può presentare talvolta uno strato superficiale alterato di spessore pari a 2m-3m. Ed un substrato costituito da formazione rocciosa. Nel caso in esame si è assunto:

MODELLO GEOTECNICO								
Quote a partire dal P.C.								
	Litotipo	Potenza	$\gamma$	$c'$	$\phi'$	$E_o$	$E'$	$E_{ur}$
		m	KN/m <sup>3</sup>	KPa	°	MPa	MPa	MPa
0								
FALDA -1.5	Depositi eluvio colluviali limosi argillosi	Ecla 5	18.5÷20.5	5÷15	24÷27	100÷400	20	60
-5								
	Substrato Alterato	Salt 3	20÷20.5	20	27÷30	150÷600	30	48
-8								
	Formazione di Schlier	Sch	23÷24	50÷60	26÷28	-	80	128

Dove:

$\gamma$  = peso di volume naturale

$\phi'$  = angolo di resistenza al taglio

$c'$  = coesione drenata

$E_o$  = modulo di deformazione elastico iniziale

$E'$  = modulo operativo di primo carico

$E_{ur}$  = modulo operativo di scarico/ricarico

La quota della falda viene fissata cautelativamente a quota di -1.5 metri dal piano campagna.



## 6. DEFINIZIONE AZIONE SISMICA

L'opera è progettata per una vita nominale  $V_N$  pari a 50 anni. Gli si attribuisce inoltre una classe d'uso III ("Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza.") ai sensi del D. Min. 14/01/2008, da cui scaturisce un coefficiente d'uso  $C_U = 1.5$ .

L'azione sismica di progetto è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito su cui l'opera insiste, descritta in termini geografici e temporali:

- attraverso i valori di accelerazione orizzontale di picco  $a_g$  (attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale) e le espressioni che definiscono le ordinate del relativo spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_e(T)$ ;
- in corrispondenza del punto del reticolo che individua la posizione geografica dell'opera;
- con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR.

In particolare, la forma spettrale prevista dalla normativa è definita, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- $a_g$ , accelerazione orizzontale massima del terreno
- $F_0$ , valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T_C^*$ , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I suddetti parametri sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

In particolare, si può notare come  $F_0$  descriva la pericolosità sismica locale del sito su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica. Di seguito sono riassunti i valori dei parametri assunti per l'opera in oggetto.

- Vita nominale  $V_N$  = 50 anni;
- Classe d'uso = III;
- Coefficiente d'uso  $C_U$  = 1.5;
- Periodo di riferimento  $V_R$  = 75 anni;
- $T_{R,SLV}$  = 712 anni;
- Comune = Camerino;
- $a_{g,SLV}$  = **0.220 g**;
- $F_{0,SLV}$  = **2.544**;
- $T_{c,SLV}^*$  = **0.333 sec.**

### Accelerazione ( $a_g$ ), fattore ( $F_0$ ) e periodo ( $T^*c$ ) per comune di riferimento

$V_R$ [anni]	Stato Limite	$PV_R$ -	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
75	SLO	81%	45	0.078	2.440	0.285
	SLD	63%	75	0.097	2.433	0.295
	SLV	10%	712	0.220	2.544	0.333
	SLC	5%	1462	0.277	2.584	0.343

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE****Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord****Opere d'arte minori: Tipologici**

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 10 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente orizzontale del moto sismico è infine costruito a partire dai parametri seguenti.

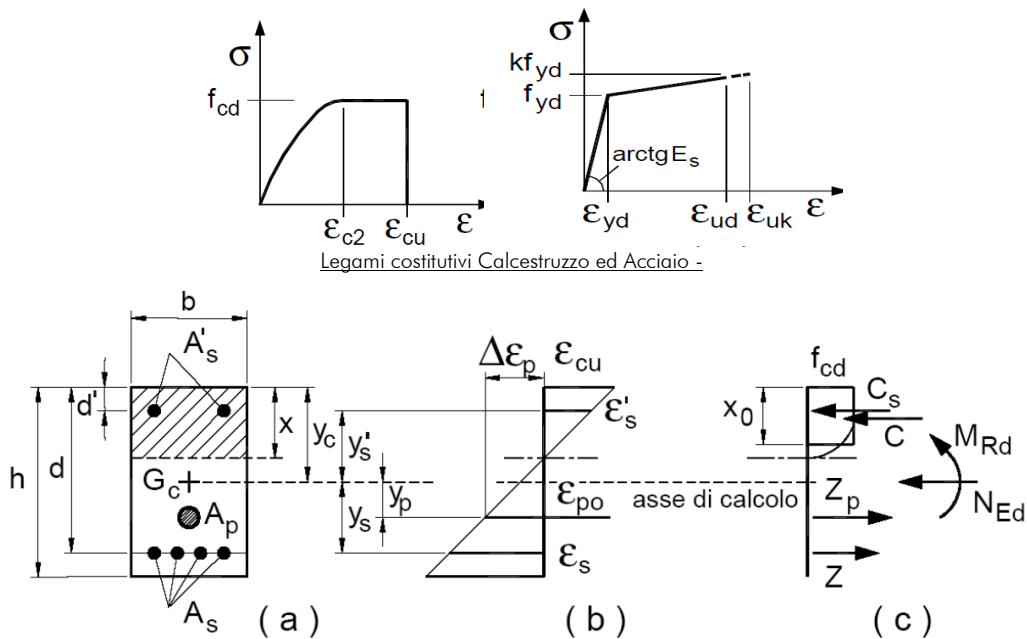
- Categoria di suolo = B;
- Categoria topografica = T1;
- $S_s$ , fattore stratigrafico = 1.176;
- $S_T$ , fattore topografico = 1.0;
- $C_c$ , fattore correttivo del periodo  $T_C^*$  = 1.371.

## 7. VERIFICHE E STATI LIMITE

### 7.1 Verifiche allo SLU

#### 7.1.1 Pressoflessione

La determinazione della capacità resistente a flessione/pressoflessione della generica sezione, viene effettuata con i criteri di cui al punto 4.1.2.1.2.4 delle NTC08, secondo quanto riportato schematicamente nelle figure seguito, tenendo conto dei valori delle resistenze e deformazioni di calcolo riportate al paragrafo dedicato alle caratteristiche dei materiali:



Schema di riferimento per la valutazione della capacità resistente a pressoflessione generica sezione -

La verifica consisterà nel controllare il soddisfacimento della seguente condizione:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove

$M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;

$N_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

$M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

### 7.1.2 Taglio

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  della membratura priva di armatura specifica risulta pari a:

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_w d$$

Dove:

- $v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ ;
- $k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$ ;
- $\rho_1 = A_{sw}/(b_w \cdot d)$
- $d$  = altezza utile per piedritti soletta superiore ed inferiore;
- $b_w = 1000$  mm larghezza utile della sezione ai fini del taglio.

In presenza di armatura, invece, la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  è il minimo tra la resistenza a taglio trazione  $V_{Rsd}$  e la resistenza a taglio compressione  $V_{Rcd}$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}' \cdot \frac{(\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta)}{(1 + \text{ctg}^2 \theta)}$$

Essendo:

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2,5$$

Per quanto riguarda in particolare le verifiche a taglio per elementi armati a taglio, si è fatto riferimento al metodo del traliccio ad inclinazione variabile, in accordo a quanto prescritto al punto 4.1.2.1.3 delle NTC08, considerando ai fini delle verifiche, un angolo  $\theta$  di inclinazione delle bielle compresse del traliccio resistente tale da rispettare la condizione.

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2,5 \quad 45^\circ \geq \theta \geq 21.8^\circ$$

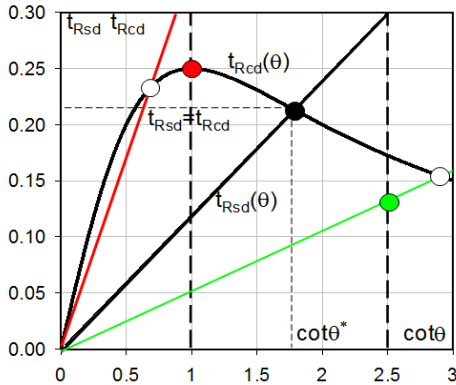
## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte minori: Tipologici

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 13 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



- Se la  $\cot \theta^*$  è compresa nell'intervallo (1,0-2,5) è possibile valutare il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rcd}=V_{Rsd})$
- Se la  $\cot \theta^*$  è maggiore di 2,5 la crisi è da attribuirsi all'armatura trasversale e il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rsd})$  coincide con il massimo taglio sopportato dalle armature trasversali valutabile per una  $\cot \theta = 2,5$ .
- Se la  $\cot \theta^*$  è minore di 1,0 la crisi è da attribuirsi alle bielle compresse e il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rcd})$  coincide con il massimo taglio sopportato dalle bielle di calcestruzzo valutabile per una  $\cot \theta = 1,0$ .

L'angolo effettivo di inclinazione delle bielle ( $\theta$ ) assunto nelle verifiche è stato in particolare valutato, nell'ambito di un problema di verifica, tenendo conto di quanto di seguito indicato :

$$\cot \theta^* = \sqrt{\frac{v \cdot \alpha_c}{\omega_{sw}} - 1}$$

(  $\theta^*$  angolo di inclinazione delle bielle cui corrisponde la crisi contemporanea di bielle compresse ed armature)

dove

$$v = f'_{cd} / f_{cd} = 0.5$$

$f'_{cd}$  = resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima

$f_{cd}$  = resistenza a compressione di calcolo del calcestruzzo d'anima

$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrature non compresse
		$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
		1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
		$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

$\omega_{sw}$  : Percentuale meccanica di armatura trasversale.

$$\omega_{sw} = \frac{A_{sw} f_{yd}}{b s f_{cd}}$$

## 7.2 Verifiche allo SLE

Le verifiche allo stato limite di esercizio vengono eseguite esclusivamente sui rivestimenti definitivi della galleria artificiale poiché le opere di protezione hanno carattere provvisorio.

In riferimento al punto 4.1.2.2 delle NTC sono contemplate le verifiche delle prestazioni che la struttura deve essere in grado di garantire in esercizio sotto l'azione dei carichi di esercizio. Esse sono inoltre ampiamente descritte nella Circolare Applicativa nei diversi approcci rigorosi e semplificati. In particolare, sono da effettuarsi verifiche di:

- verifiche di fessurazione;
- verifica di limitazione delle tensioni in esercizio.

## 7.3 Verifiche di fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]. Il calcolo eseguito per le verifiche in questione fa fede a quanto riportato al 4.1.2.2.4.6 Verifica allo stato limite di fessurazione della Normativa NTC2008.

La classe di esposizione scelta, in riferimento alle NTC, è la XA3. Le condizioni ambientali si considerano aggressive e le armature sono acciai ordinari, quindi "poco sensibili".

L'apertura limite delle fessure è riportata nel prospetto seguente:

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Lo stato limite di apertura delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Per la NTC i limiti da verificare sono quindi:

combinazione frequente:  $w_2 = 0.3 \text{ mm}$

combinazione quasi permanente:  $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

## 8. COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini della determinazione delle sollecitazioni di verifica, le azioni elementari descritte al precedente paragrafo, vanno combinate nei vari stati limite di verifica previsti (Esercizio, Stati limite Ultimo statico e Sismico) in accordo a quanto previsto al punto 2.5.3 delle NTC08, tenendo conto dell'approccio di Verifica Scelto; a tal fine, si riportano per maggiore chiarezza le espressioni generali dei criteri di combinazione delle azioni definiti al 2.5.3 delle DM 14.01.08 :

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

Ai fini della scelta dei coefficienti parziali da applicare alle azioni ( $\gamma$ ), la norma definisce inoltre, per il caso specifiche delle paratie di sostegno (Prg 6.5.3.1.2), due possibili approcci progettuali ovvero:

### Approccio 1:

Fase Statica: A1+M1+R1 (STR – Combinazione per le verifiche strutturali)

A2+M2+R1 (GEO – Combinazione per le verifiche geotecniche)

Fase Sismica: 1+M1+R1 (EQK-STR – Combinazione per le verifiche strutturali in fase sismica)

1+M2+R1 (EQK-GEO – Combinazione per le verifiche geotecniche in fase sismica)

### Approccio 2:

Fase Statica: A1+M1+R3 (STR / GEO – Combinazione per le verifiche strutturali e geotecniche)

Fase Sismica: 1+M1+R3 (EQK- STR/GEO – Combinazione per le verifiche strutturali e geotecniche in fase sismica)

essendo:

**A1/A2** : coefficienti amplificativi delle azioni

**M1/M2** : coefficienti parziali sulle resistenze dei materiali e del terreno

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte minori: Tipologici

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 16 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

**R1/R2/R3** : Coefficienti di sicurezza minimo nei riguardi del generico Stato limite di Verifica.

Per il caso specifico delle **Paratie**, tali coefficienti sono definite nelle apposite tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.II che nel seguito si riportano per completezza espositiva:

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q3}$	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.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;  
 $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;  
 $\gamma_{Q1}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

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

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

**Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.**

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

Nell'ambito delle Analisi di seguito esposte, si è fatto riferimento nella fattispecie all'**APPROCCIO 1**, andando ad esaminare tutti gli stati limite ritenuti significativi per il caso delle opere in progetto, secondo quanto specificato al già citato prg "6.5.3.1.2 Paratie" del DM 14.01.08, ovvero:



## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte minori: Tipologici

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 17 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)

- Stabilità Locale : collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera;

- sfilamento di uno o più ancoraggi, con i criteri di cui al successivo paragrafo 8.2.

- SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;

- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia,

Nell'ambito degli stati limite Ultimi di tipo geotecnico, si è inoltre proceduto ad una verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera; secondo i criteri di cui al successivo paragrafo 15.

Si è infine proceduto con una verifica nei riguardi degli Stati Limite di Esercizio (SLE), andando a controllare il tasso di lavoro dei materiali/fessurazione per le strutture in calcestruzzo, nonché ad una stima delle deformazioni dell'opera e dei cedimenti del piano limite a tergo.

## 9. VERIFICHE GEOTECNICHE DI STABILITA' LOCALE

Con riferimento alle verifiche geotecniche di Stabilità locale delle opere di sostegno in progetto, il coefficiente di sicurezza nei riguardi di un'eventuale moto rigido dell'opera viene espresso nelle analisi effettuate, in termini di "lunghezza di infissione" della paratia, secondo quanto di seguito esposto:

**FS Infissione (Equilibrio Limite):** Coefficiente di Sicurezza desunto dall'analisi all'equilibrio limite

$$FS = \frac{\text{Lunghezza di infissione della paratia}}{\text{Max. lunghezza di infissione richiesta}} \quad (11)$$

dove per massima infissione richiesta si intende la lunghezza maggiore calcolata imponendo  $FS = 1$  nelle 2 equazioni seguenti:

1) FS alla traslazione:

$$FS = \frac{\text{Risultante delle forze resistenti}}{\text{Risultante delle forze instabilizzanti}}$$

2) FS alla rotazione:

$$FS = \frac{\text{Momento della risultante delle forze resistenti}}{\text{Momento della risultante delle forze instabilizzanti}}$$

Ulteriori indicatori di riferimento per le verifiche SLU GEO, rappresentativi dell'impegno delle resistenza del terreno nei riguardi della stabilità locale, sono i seguenti:

**Passiva/Vera:** Rapporto tra la spinta passiva disponibile e quella effettivamente mobilitata a valle.

**Vera/Attiva:** Rapporto tra la Spinta di monte e la Spinta Attiva; un valore unitario di tale coefficiente, è rappresentativo del fatto che la paratia ha subito deformazioni tali che la spinta di monte si è ridotta fino al valore di spinta attiva, mentre valori superiori all'unità indicano una condizione di spinta a monte intermedia tra le condizioni a riposo e quelle di stato limite attivo

I risultati ottenuti sono riportati in dettaglio nei paragrafi specifici dedicati ai vari casi di calcolo esaminanti, oltre che nei tabulati relativi di calcolo.

## 10. CRITERI GENERALI DI ANALISI DI PARATIE DI SOSTEGNO

### 10.1 Metodologia di calcolo

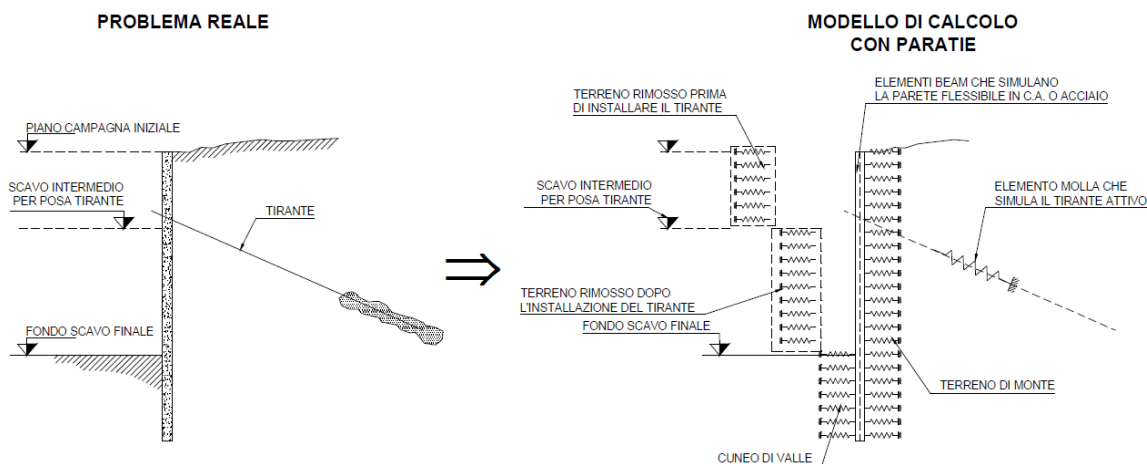
Le analisi finalizzate al dimensionamento delle strutture sono state condotte con il programma di calcolo "Paratie Plus" della HarpaCeas s.r.l. di Milano.

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

Gli spostamenti vengono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".



Al fine di ottenere informazioni attendibili sull'entità delle sollecitazioni e delle deformazioni nelle paratie è necessario poterne seguire il comportamento durante le principali fasi esecutive.

A tal riguardo, l'interazione fra la paratia e il terreno, è simulata modellando la prima con elementi finiti caratterizzati da una rigidità flessionale ed il secondo con molle elasto-plastiche connesse ai nodi della paratia di rigidità proporzionale al modulo di rigidità del terreno. Inoltre, è possibile modellare eventuali elementi di sostegno della paratia (tiranti, puntoni) con molle dotate di opportuna rigidità.

In particolare, la paratia è schematizzata attraverso un diaframma di spessore equivalente ricavato attraverso la seguente espressione:

$$s_{eq} = \sqrt[3]{\frac{12E_m J_p}{i}}$$

dove:

$E_m$  modulo elastico del calcestruzzo costituente i pali

$J_p$  inerzia della sezione del palo

$i$  interasse dei pali

Il terreno si comporta come un mezzo elastico sino a che il rapporto tra la tensione orizzontale efficace ( $\sigma'h$ ) e la tensione verticale efficace ( $\sigma'v$ ) risulta compreso tra il coefficiente di spinta attivo ( $k_a$ ) e passivo ( $k_p$ ), mentre quando il rapporto è pari a  $k_a$  o a  $k_p$  il terreno si comporta come un mezzo elasto-plastico.

Questo modello, nella sua semplicità concettuale, derivato direttamente dal modello di Winkler, consente una simulazione del comportamento del terreno adeguata agli scopi progettuali. In particolare, vengono superate le limitazioni dei più tradizionali metodi dell'equilibrio limite, non idonei a seguire il comportamento della struttura al variare delle fasi esecutive.

I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidezza delle molle. Per un letto di molle distribuite la rigidezza di ciascuna di esse,  $k$ , è data da:

$$k = E / L$$

ove  $E$  è un modulo di rigidezza del terreno mentre  $L$  è una grandezza geometrica caratteristica. Poiché nel programma PARATIE le molle sono posizionate a distanze finite  $\Delta$ , la rigidezza di ogni molla è:

$$K = \frac{E\Delta}{L}$$

Il valore di  $\Delta$  è fornito dalla schematizzazione ad elementi finiti. Il valore di  $L$  è fissato automaticamente dal programma. Esso rappresenta una grandezza caratteristica che è diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento in zona attiva e passiva. Si è scelto, in zona attiva (uphill):

$$L_A = \frac{2}{3} \ell_A \tan(45^\circ - \phi' / 2)$$

e in zona passiva (downhill):

$$L_P = \frac{2}{3} \ell_P \tan(45^\circ + \phi' / 2)$$

dove  $\ell_A$  ed  $\ell_P$  sono rispettivamente:

$$\ell_A = \min\{1, 2H\};$$

$$\ell_P = \min\{1 - H, H\}$$

e dove  $l$  = altezza totale della paratia e  $H$  = altezza corrente dello scavo. La logica di questa scelta è illustrata nella pubblicazione di Becci e Nova (1987). Si assume in ogni caso un valore di  $H$  non minore di 1/10 dell'altezza totale della parete.

## 10.2 Coefficienti di Spinta

### 10.2.1 Coefficienti ed Incremento di Spinta in Fase Statica

Il metodo di calcolo richiede ovviamente la definizione di parametri, valutati in funzione delle caratteristiche geotecniche e fisiche dei terreni, delle caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera.

In particolare la pressione fondamentale dell'analisi è la  $\sigma'h$  che lo scheletro solido del terreno esercita sulla struttura di sostegno che dipende dagli spostamenti che essa subisce per effetto di  $\sigma'h$  stessa ovvero dipende dall'interazione fra la struttura ed il terreno a tergo dell'opera.

Nel caso in cui la struttura subisca uno spostamento verso valle, la  $\sigma'h$  sul paramento di monte può essere calcolata come:

$$\sigma'h = K_a \cdot \sigma'v - 2 \cdot c' \cdot (K_a)^{0.5} \quad \text{pressione attiva}$$

dove:

$K_a$  = coefficiente di spinta attiva;

$\sigma'v$  = tensione verticale efficace alla generica profondità

$c'$  = coesione efficace.

In condizioni statiche,  $K_a$  è funzione dell'angolo di attrito efficace dello scheletro solido  $\phi'$ , dell'angolo di attrito fra struttura e terreno  $\delta$  dell'inclinazione  $\beta$  del paramento di monte della struttura di sostegno e dell'inclinazione  $i$  del terrapieno a tergo dell'opera .

Nel caso in cui la struttura subisca uno spostamento verso monte, la  $\sigma'h$  sul paramento di monte può essere calcolata come:

$$\sigma'h = K_p \cdot \sigma'v + 2 \cdot c' \cdot (K_p)^{0.5} \quad \text{pressione passiva}$$

dove:

$K_p$  = coefficiente di spinta passiva;

$\sigma'v$  = tensione verticale efficace alla generica profondità;

$c'$  = coesione efficace.

Fra le varie formulazioni proposte per il calcolo di  $K_a$  e  $k_p$ , di seguito, si farà riferimento a quelle di [Coulomb, 1773] assumendo cautelativamente  $\delta=0$ .

$$k_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \beta)}{\cos^2(\beta) \cos(\delta + \beta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \sin(\varphi' - i)}{\cos(\delta + \beta) \cos(i - \beta)}} \right]^2}$$

$$k_p = \frac{\cos^2(\varphi' + \beta)}{\cos^2(\beta) \cos(\delta - \beta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \sin(\varphi' + i)}{\cos(\delta - \beta) \cos(i - \beta)}} \right]^2}$$

dove:

- $\beta$  è l'inclinazione del paramento del muro rispetto alla verticale;
- $\delta$  è l'angolo di attrito tra muro e terreno;
- $i$  è l'inclinazione del piano campagna rispetto all'orizzontale;
- $\varphi'$  è l'angolo d'attrito del terreno.

Pertanto, nel caso di strutture di sostegno flessibili, eventualmente contrastate da elementi strutturali attivi o passivi messi in opera in fasi successive, sul paramento di monte agirà la pressione attiva e su quello di valle la pressione passiva.

Nel caso di strutture molto rigide, incapaci di subire spostamenti sufficienti a mobilitare la pressione attiva o quella passiva, la pressione  $\sigma'h$  esercitata dallo scheletro solido sull'opera di sostegno sarà prossima alla pressione geostatica iniziale:

$$\sigma'h = K_0 \cdot \sigma'v \quad \text{pressione a riposo}$$

dove:

$K_0$  = coefficiente di spinta a riposo;

$\sigma'v$  = tensione verticale efficace.

Secondo la relazione di [Kulhawy et al., 1989]  $k_0$  dipende dalla resistenza del terreno e dal rapporto di sovraconsolidazione del terreno O.C.R.:

$$k_0 = k_0^{nc} (OCR)^m$$

dove:

$k_0^{nc}$  è il coefficiente di spinta a riposo per terreni normal-consolidati che secondo [Jaky, 1936] può essere posto pari a  $(1 - \tan \phi')$ ;

$m$  è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

Il software di calcolo utilizzato è in grado, in funzione del campo di spostamento risultante nei vari step di analisi, di risalire automaticamente all'entità della spinta in ogni fase a partire dal valore iniziale di spinta a riposo.

La rigidezza delle molle schematizzanti il terreno sono proporzionali al modulo elastico del terreno. Il modulo di scarico-ricarico (Eur) può essere 1.5÷3 volte quello di primo carico (Evc).

Per strutture di sostegno alla pressione esercitata dallo scheletro solido deve essere sommata la pressione esercitata dall'acqua assumendo schemi di filtrazione idonei in funzione delle condizioni stratigrafiche ed al contorno.

In presenza di Falda, va ovviamente aggiunta la pressione idrostatica che alla generica profondità, può essere valutata come di seguito:

$$u = \gamma_w z$$

In definitiva, l'espressione generale per il calcolo della pressione verticale efficace alla generica profondità z, in caso di eventuale presenza di sovraccarichi sul piano limite e falda è la seguente:

$$\sigma'_v = \gamma (z-hw) + \gamma' hw + q$$

essendo:

$\gamma$  : peso di volume naturale del terreno

$\gamma'$  : peso di volume del terreno immerso

hw : altezza di falda rispetto al piano orizzontale posto a quota z

q : intensità del sovraccarico presente su piano limite

### 10.2.2 Coefficienti ed Incremento di Spinta in Fase Sismica

Nell'analisi per la valutazione della spinta attiva si è utilizzato il Metodo di Mononobe – Okabe (M – O) assumendo  $\delta=0$ ; Il metodo è un'estensione della teoria statica di Coulomb.

Le sovrappressioni sismiche alla M-O sono date dagli sforzi verticali moltiplicati per il seguente coefficiente di spinta:

$$k_{ae} = \frac{\cos^2(\varphi' - \beta - \theta)}{\cos(\theta) \cos^2(\beta) \cos(\delta + \beta + \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \sin(\varphi' - i - \theta)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^2}$$

dove:

- $\beta$  è l'inclinazione del paramento del muro rispetto alla verticale;
- $\delta$  è l'angolo di attrito tra muro e terreno;
- $i$  è l'inclinazione del piano campagna rispetto all'orizzontale;
- $\varphi'$  è l'angolo d'attrito del terreno.
- $\theta$  tiene conto della presenza del sisma. Può assumere i valori ottenuti dalle Eqz. 28, 29 e 30 rispettivamente per terreno secco, impermeabile e permeabile.

$$\arctan\left(\frac{a_x}{1 - a_y}\right) \quad (28)$$

$$\arctan\left(\frac{\gamma_{dry}}{\gamma_{tot} - \gamma_w} \frac{a_x}{1 - a_y}\right) \quad (29)$$

$$\arctan\left(\frac{\gamma_{dry}}{\gamma_{dry} - \gamma_w} \frac{a_x}{1 - a_y}\right) \quad (30)$$

dove:

$\alpha_x = K_h$ (coefficiente sismico orizzontale)

$\alpha_y = K_v$ (coefficiente sismico verticale)

In definitiva, alla paratia si applica in fase sismica una sovraspinta data complessivamente dalla seguente espressione:

$$F_{eq} = \int (1 - a_y) \cos(\delta) \sigma'_v k_{ae} dH - \int \sigma'_v k_{a,Coulomb} dH$$

Per il coefficiente di spinta passiva in fase sismica "Kpe", la formulazione di M-O può sovrastimare la spinta passiva qualora venga considerato un angolo di scabrezza terreno-paratia  $\delta > 0$ .

Nel caso in esame, anche se  $\delta=0$ , per la valutazione di Kpe si farà riferimento alla formulazione di Lancellotta (2007) in grado di tener conto della non planarità della superficie di scorrimento ricavata applicando il teorema del limite inferiore dell'analisi limite:

$$K_{phe} = \cos \delta \cdot \frac{(\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \delta})}{\cos(\varepsilon - \theta) - \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2(\varepsilon - \theta)}} \cdot e^{2\psi \cdot \tan \varphi}$$

$$2 \cdot \psi = \arcsin\left(\frac{\sin \delta}{\sin \varphi}\right) + \arcsin\left[\frac{\sin(\varepsilon - \theta)}{\sin \varphi}\right] + \delta + (\varepsilon - \theta) + 2 \cdot \theta$$

$$\sigma'_{pe} = K_{phe} \cdot \cos \varepsilon \cdot \gamma \cdot \frac{(1 \pm k_v)}{\cos \theta} \cdot z = \lambda_{phe} \cdot \frac{(1 \pm k_v)}{\cos \theta} \cdot \gamma \cdot z$$



### 10.2.3 Coefficienti di attrito struttura-terreno

Il software di calcolo utilizzato non consente di differenziare il valore del coefficiente di attrito terra-muro nelle varie fasi di calcolo. Pertanto è stato utilizzato, per la valutazione dei coefficienti di spinta, cautelativamente  $\delta=0$  sia in fase statica che in fase sismica.

### 10.3 Effetti dell'Azione sismica su masse e carichi

Per la simulazione degli effetti dell'azione sismica si fa riferimento al metodo pseudostatico secondo quanto previsto dalla normativa vigente, applicando cioè alle masse ed ai carichi fissi e variabili eventualmente presenti, due azioni statiche equivalenti proporzionali al peso, ovvero all'intensità del carico secondo quanto di seguito indicato

$F_h = k_h \times W$  (azione sismica orizzontale)

$F_v = k_v \times W$  (azione sismica verticale)

con:

W : Peso della massa coinvolta / intensità del carico permanente o variabile

$k_h$  : coefficiente sismico orizzontale

$k_v$  : coefficiente sismico verticale

Per le opere di sostegno, i coefficienti sismici  $k_h$  e  $k_v$  sono in particolare definiti al punto 7.11.6.3.1 del Dm 14.01.08, risultando in particolare:

$$k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h$$

dove:

- g è l'accelerazione di gravità;

-  $a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$  è l'accelerazione di picco attesa nel volume di terreno significativo per l'opera;

-  $a_g$  è l'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido;

-  $S_s$  e  $S_T$  coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica, ricavabili dalle specifiche tabelle di normativa che si seguito si riportano per chiarezza espositiva:

**Tabella 3.2.V – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$** 

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

**Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche**

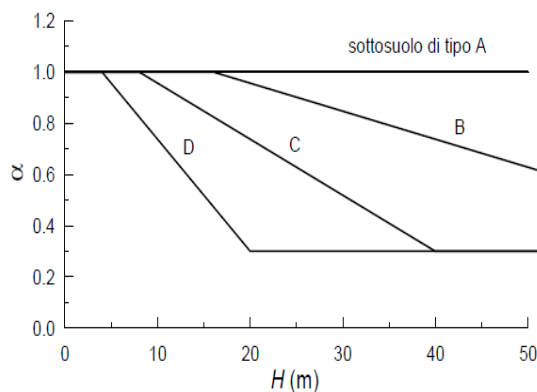
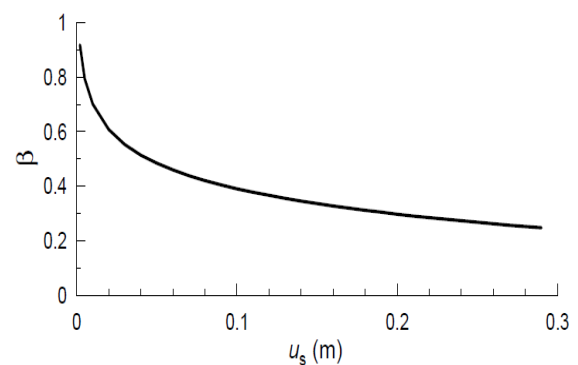
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

**Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$** 

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

–  $\beta$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti ( $u_s$ ) senza cadute di resistenza.

–  $\alpha$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera, ricavabile dall'abaco riportato di seguito, in funzione dell'altezza complessiva dell'opera  $H$  e del tipo di sottosuolo.


**Figura 7.11.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$** 

**Figura 7.11.3 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$**

Per il caso di calcolo in esame si è assunto:

**PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA**

 Stato Limite di Riferimento : **SLV**
**Pvr**                      **0.10**
**VN**                        **50.0**
**cu**                         **1.50**
**VR**                        **75.0**
**TR**                         **711.8**
**a<sub>g</sub> [m/s<sup>2</sup>]**            **2.158**      Accelerazione di Progetto **SLV**
**a<sub>g</sub> / g**                    **0.220**
**Fo =**                        **2.544**
**Tc =**                        **0.333**
**Cat Suolo**                **B**
**S<sub>S</sub> =**                      **1.176**
**Cat Topogr.**            **T1**
**S<sub>T</sub> =**                      **1.00**
**a<sub>max</sub> [m/s<sup>2</sup>] =**      **2.538**
**β**                            **0.60**      HP: Us=0.03 (m)

**NOTA: METODO DI MONONOBE OKABE**

<b>Hparatia [m]</b>	<b>18.0</b>
---------------------	-------------

<b>α</b>	<b>0.95</b>
----------	-------------

abaco fig.7.11.2

Cautelativamente si assume:

SEZIONE	A
---------	---

<b>α (Calcolo)</b>	<b>1.00</b>
--------------------	-------------

In definitiva si ha:

SEZIONE	A
---------	---

<b>Kh [--]</b>	<b>0.155</b>
----------------	--------------

 Kh :      Coefficiente sismico orizzontale  $k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$ 

<b>Kv [--]</b>	<b>0.078</b>
----------------	--------------

Kv :      Coefficiente sismico verticale

#### 10.4 Effetti dell'Azione sismica sulla falda

Normalmente gli effetti idrodinamici considerati per il calcolo delle paratie sono calcolati con il metodo di Westergaard (Westergaard, 1931) e sono applicate sempre come pressioni esterne. La pressione idrodinamica viene calcolata come in particolare come segue:

$$p_w = \frac{7}{8} a_x \gamma_w \sqrt{z_w H}$$

$H$  è l'altezza del livello di falda rispetto a fondo scavo

$z_w$  è la profondità del punto considerato dalla superficie libera della falda

Se l'acqua si trova al di sopra della superficie del terreno, le pressioni esterne idrodinamiche sono contenute all'interno dell'equazione sopra riportata. Nel caso si abbia una quota di falda al di sopra della quota di scavo le pressioni idrodinamiche sono incluse nel lato scavo, nella direzione dell'accelerazione orizzontale.

Dipendendo dalla permeabilità del terreno, l'acqua contenuta nel terreno stesso può muoversi indipendentemente o insieme allo scheletro solido; nello specifico si fa l'ipotesi di terreno impervio, condizione che corrisponde alla impossibilità dell'acqua di muoversi in maniera indipendente, per cui gli effetti idrodinamici sono trascurabili ed il cuneo di spinta viene valutato con un peso dato dal  $\gamma_{saturo}$ .

### 11. ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

Nella redazione del presente documento sono stati utilizzati i seguenti programmi di calcolo:

- "PARATIE Plus" (analisi sollecitazioni e deformazioni di paratie in condizioni piane metodo elasto-plastico) – prodotta della HarpaCeas s.r.l. di Milano, n° Licenza 1402 intestata a PROGIN SPA - CENTRO DIREZIONALE DI NAPOLI ISOLA F4 - 80143 NAPOLI.)
- "PresFle+ ver 5.15" (Verifiche di sezioni in cemento armato, prodotto e distribuito dalla Concrete srl, identificato nello specifico licenza n° 4552054 intestata a PROGIN SPA - CENTRO DIREZIONALE DI NAPOLI ISOLA F4 - 80143 NAPOLI.)

## 12. RISULTATI ANALISI E FASI DI CALCOLO

### 12.1 Criteri di Analisi e Fasi di Calcolo

Le analisi eseguite sono di tipo sequenziale, riproducendo in successione tutte le principali fasi operative previste per la realizzazione dell'opera. Quindi, il termine di ciascuna analisi rappresenta la condizione iniziale per la fase successiva.

Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione, nell'ambito delle analisi effettuate:

La quota di zero è posta a estradosso cordolo paratia.

**Step 0.** Esecuzione paratia di pali allineati  $\phi 1500$  mm ad interasse  $i=1.7$ m, ed inizializzazione geostatica.

**Step 1.** Esecuzione scavo fino a quota 6.5m

**Step 2.** Attivazione sisma ( $k_h=0.155$ ;  $k_v=0.078$ ).

Per ciò che concerne tutti i dati di input, risultati in termini di stabilità e sollecitazioni di calcolo, si rimanda a quanto riportato in dettaglio nelle specifiche sezioni dell'allegato A del presente documento.

Di seguito si riportano le immagini relative alle fasi di calcolo:

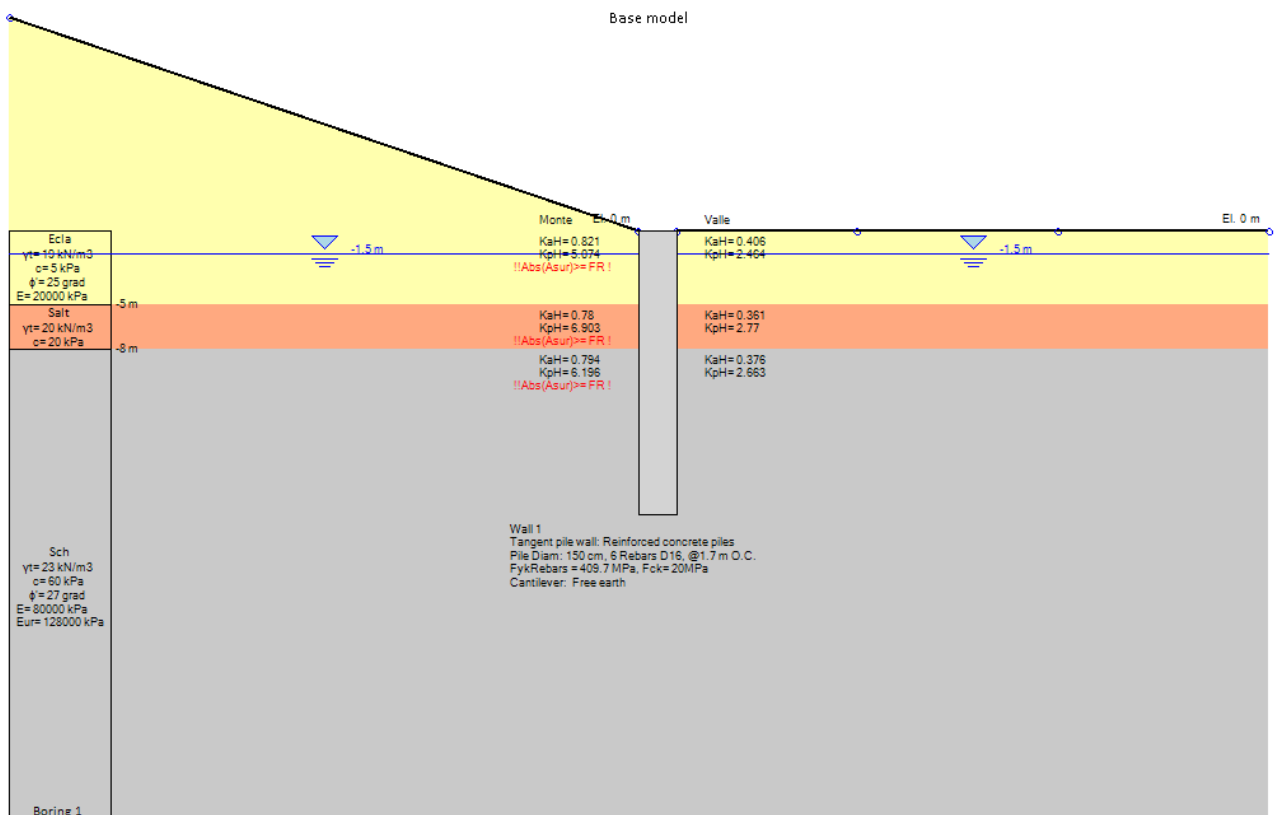


Figura 1 – Esecuzione paratia ed inizializzazione geostatica (step 0)

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte minori: Tipologici

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 30 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

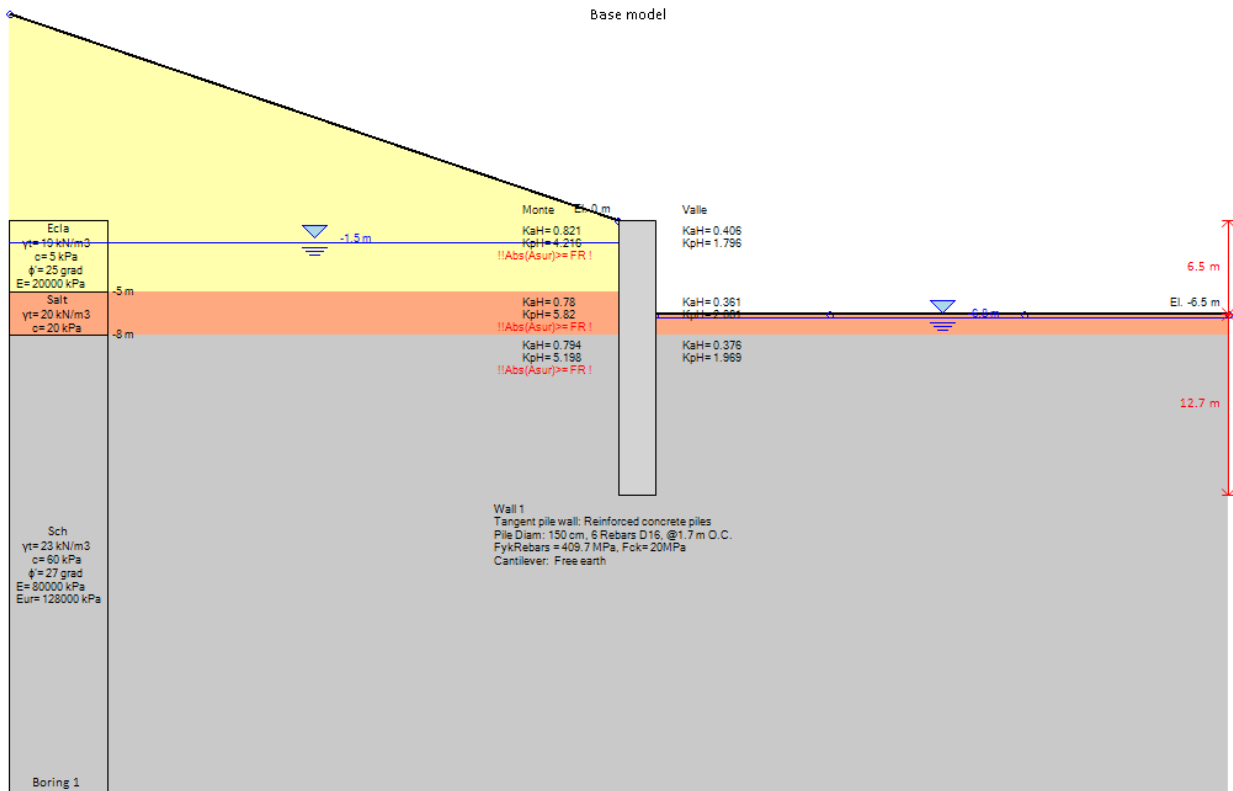


Figura 2 – Esecuzione scavo (step 1)

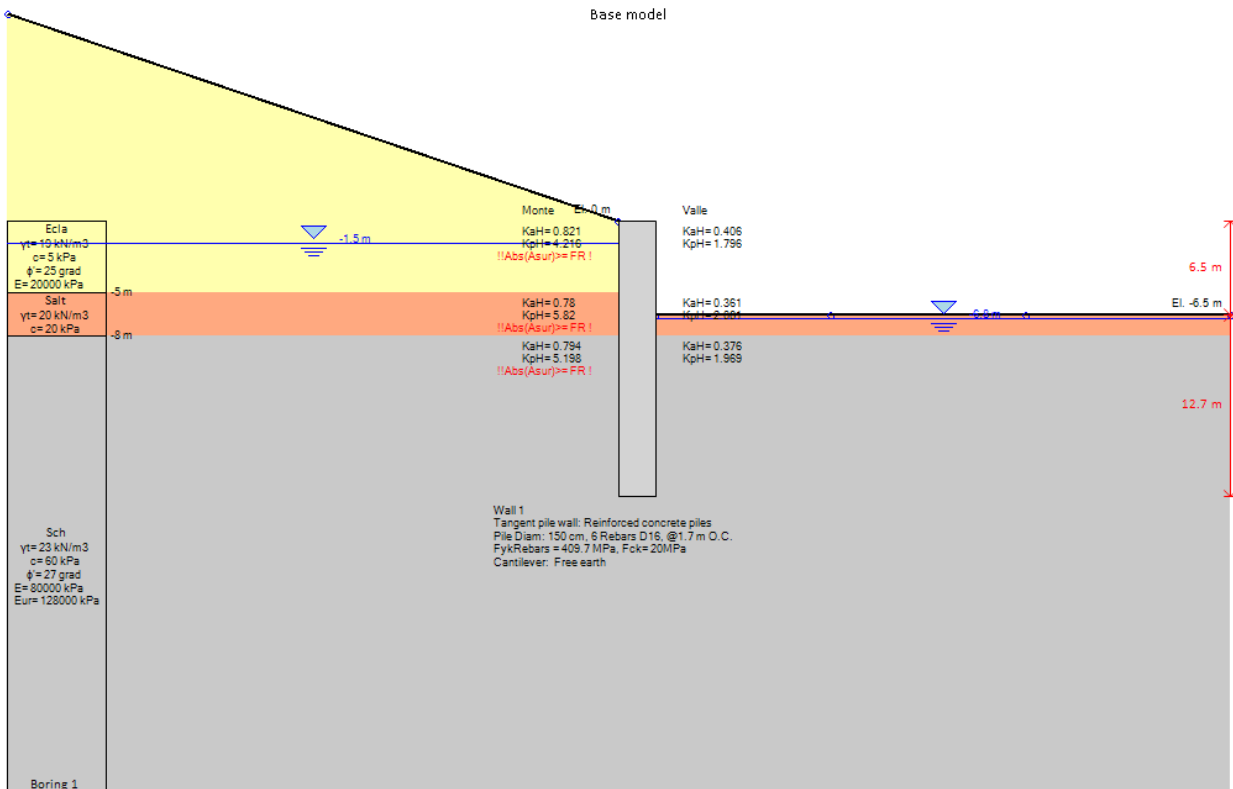


Figura 3 – Attivazione sisma (step 8)

## 12.2 sollecitazioni, sforzi e deformazioni

Nel seguito del presente paragrafo sono riportati, in forma grafica, i risultati delle Sollecitazioni e degli Sforzi di riferimento per la Verifica dei Pali, e cordoli delle paratie, con riferimento alle Combinazioni di Carico che, secondo le prescrizioni normative, vanno considerate per i vari casi; nello specifico, i grafici fanno riferimento alle seguenti combinazioni:

**A1-M1-R1(statica e sismica):** Verifica strutturale dei Pali, Tiranti e travi di Contrasto in Fase Statica

**SLE:** Deformazioni massime della paratia, cedimenti piano limite, Carico di esercizio nei Tiranti, Verifiche tensionali e di fessurazione

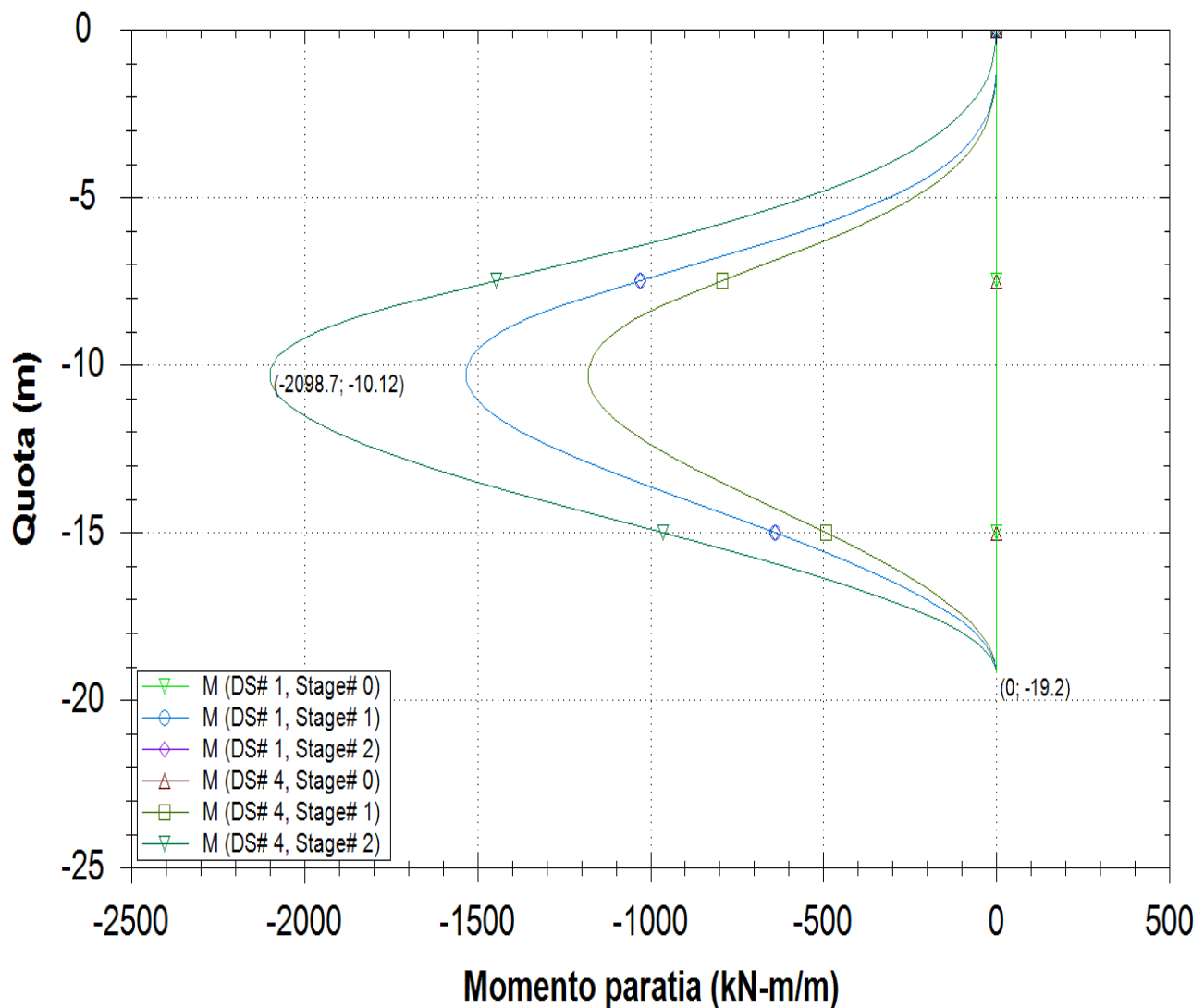


Figura 4 – A1-M1-R1(Statica "DS#1" e Sismica "DS#4") – Momento Flettente

**2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte minori: Tipologici

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 32 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

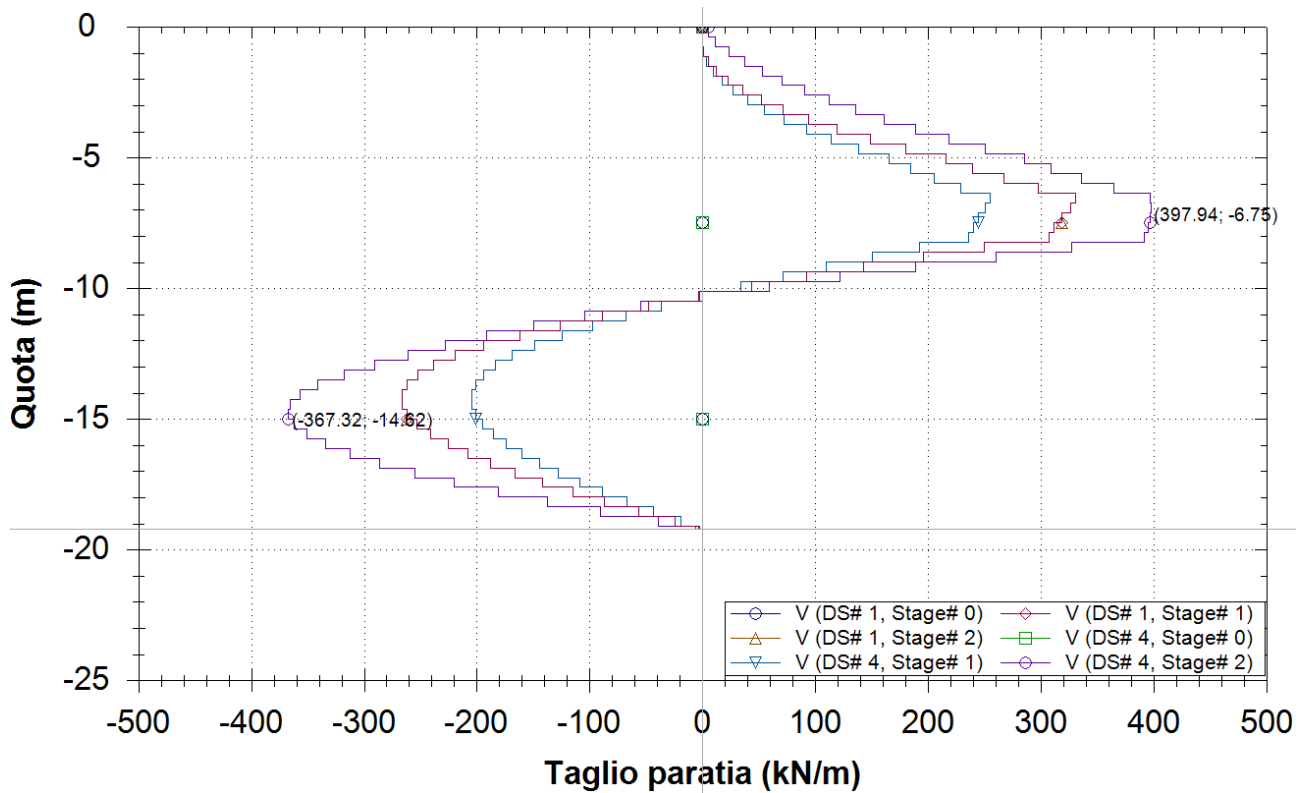


Figura 5 – A1-M1-R1 (Statica "DS#1" e Sismica "DS#4") – Taglio

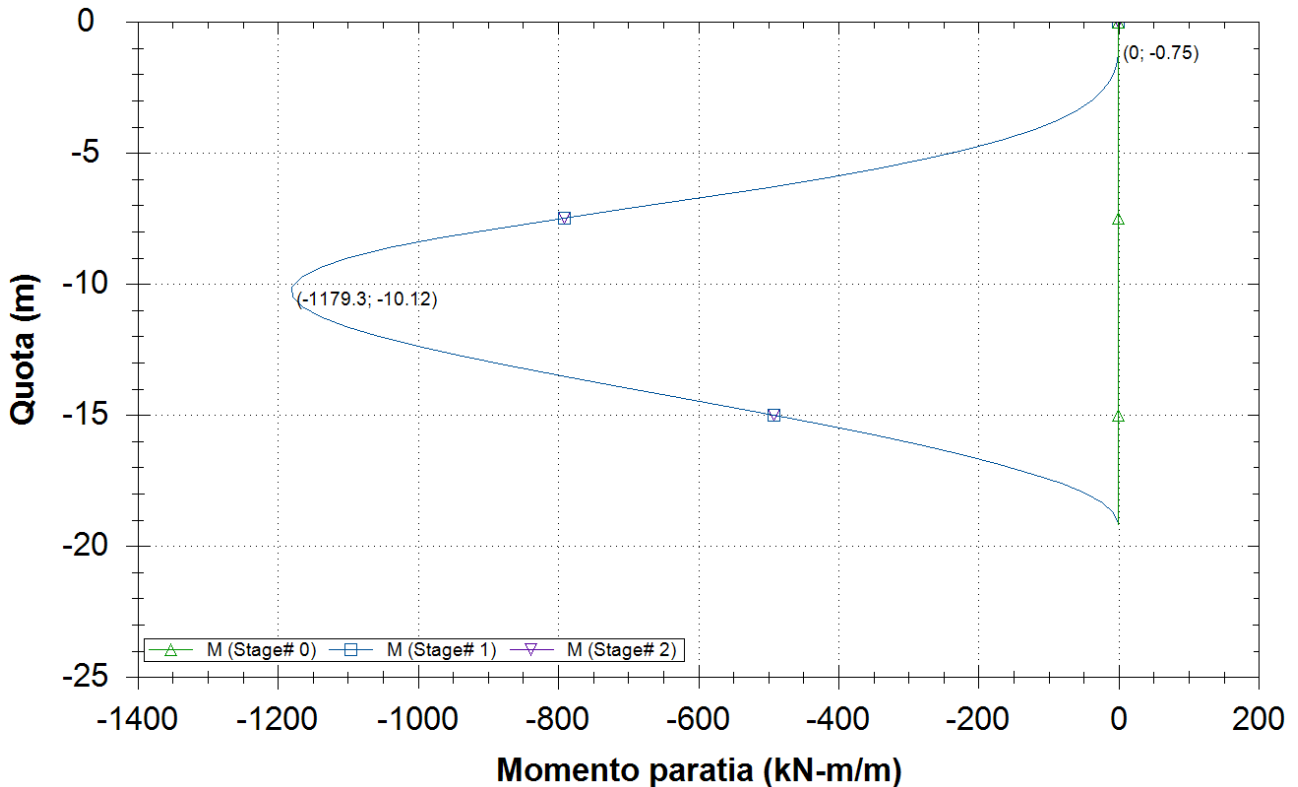


Figura 6 – SLE – Momento Flettente



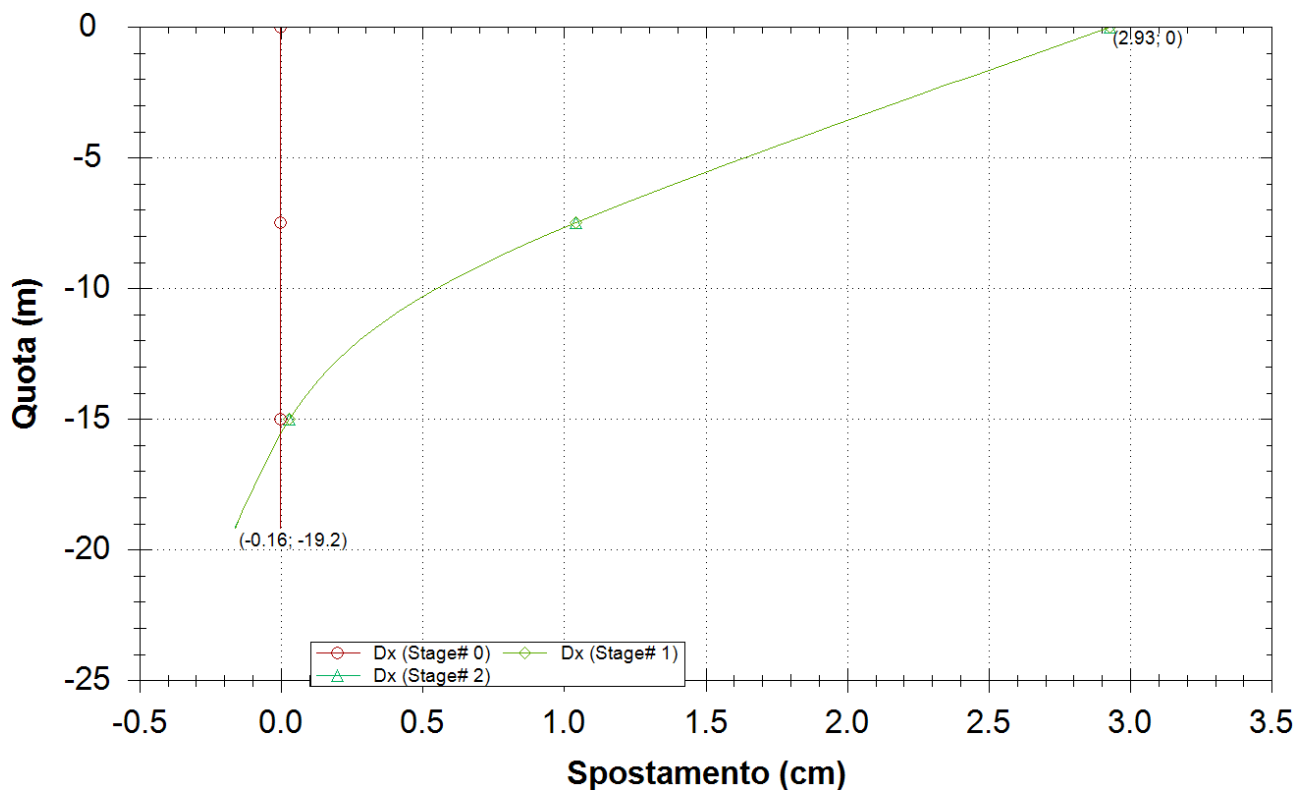


Figura 7 – SLE - Deformazioni Fase per Fase

### 12.3 SINTESI RISULTATI

Nella tabella seguente si riportano i risultati maggiormente significativi per la sezione analizzata:

	Spostamento X paratia (cm)	Cedimenti Z terreno (cm)	Momento paratia (kN-m/m)	Momento paratia (kN-m)	Taglio paratia (kN/m)	Taglio paratia (kN)	FS passiva (eq. limite)	FS rotazione (eq. limite)	FS infissione (eq. limite)	Passiva/Vera (analisi NL)	Vera/Attiva (analisi NL)
Base model	5.71	3.94	2098.7	3567.79	397.94	676.5	4.004	2.276	1.801	2.437	1.493
0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	2.93	2.01	1533.09	2606.25	331.41	563.4	3.551	2.303	1.901	3.435	1.493
0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1	4.02	2.86	1418.9	2412.13	312.56	531.35	2.667	1.813	1.709	2.416	1.122
0: DM08_ITA: EQK - GEO	13.04	10.58	2539.8	4317.66	541.93	921.28	2.379	1.471	1.364	1.591	1.122
0: DM08_ITA: EQK - STR	5.71	3.94	2098.7	3567.79	397.94	676.5	4.004	2.276	1.801	2.437	1.493
0: DM08_ITA: SLE: (RARA)	2.93	2.01	1179.3	2004.81	254.93	433.38	4.616	2.994	2.288	3.435	1.493

## 12.4 VERIFICA STRUTTURALE PARATIA

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche strutturali con riferimento alle massime sollecitazioni ricavate dalle analisi effettuate i cui risultati sono esposti nelle specifiche sezioni dell'Allegato A, cui si rimanda per i dettagli.

Le verifiche fanno riferimento in particolare alle sezioni maggiormente sollecitate, in corrispondenza delle quali è stata definita l'armatura massima dell'elemento, prevedendo, ove ritenuto opportuno, una riduzione della stessa lungo l'altezza del diaframma in ragione dell'andamento delle sollecitazioni desumibile.

Geometria sezione paratia			
<b>tipo:</b>	<b>Pali <math>\phi</math> 1500</b>		
<b>D=</b>	1.5	m	
<b>A=</b>	1.77	m <sup>2</sup>	Area sezione paratia
<b>c=</b>	6.0	cm	Copriferro netto
Armatura			
<b>Long. I Strato</b>	30	$\phi$	24
<b>Long. II Strato</b>	20	$\phi$	24
<b>Spirale</b>	1 $\phi$ 10/20		

VERIFICHE SLU				
N	Mmax	Vmax	C.S. (TRd/ TEd)	C.S. (MRd, NRd)
[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]
-265	3567.79	676.5	2.23	2.90

VERIFICHE SLE				
N	Mmax	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	wk
[kN]	[kN]	MPa	MPa	mm
-265	2004.81	-7.70	216.5	0.24

Dove:

N= Sforzo normale agente in corrispondenza della sezione di momento massimo.

Ai fini delle verifiche agli stati limite di esercizio si è provveduto a verificare che le tensioni massime nel calcestruzzo e nell'acciaio siano inferiori ai valori massimi pari rispettivamente a 19,9 Mpa (per calcestruzzo di classe C32/40 combinazioni rare) e di 360 Mpa (per acciaio B 450 C), nonché di verificare che l'apertura delle fessure sia inferiore al valore limite di  $w_3=0,3\text{mm}$  (Classe di esposizione XC2 ed armature poco sensibili).

Mentre per le verifiche a taglio si è fatto riferimento ad una sezione rettangolare equivalente in termini di aree avente base 100cm e altezza 225 cm.

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte minori: Tipologici

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 35 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

# ALLEGATO

## *Tabulati*

## DATI GENERALI

# Paratie Plus 2012

Ce.A.S. , Centro di Analisi Strutturale, viale Giustiniano 10, 20129

Milano.www.ceas.it.DeepExcavation LLC, Astoria, New

York.www.deepexcavation.com.UN PROGRAMMA NONLINEARE AD ELEMENTI

FINITI PER L'ANALISI DI STRUTTURE DI SOSTEGNO FLESSIBILI

Progetto: My Project

**SISTEMI DI RIFERIMENTO E CONVENZIONI** Le coordinate, i carichi, i cedimenti, le reazioni vincolari e gli spostamenti dei NODI sono riferiti ad una terna destra cartesiana globale con l'asse Z verticale rivolto verso l'alto e l'asse Y verso destra.

### ELEMENTO TRUSS

1. FORCE : FORZA NELL'ELEMENTO PER UNITÀ DI PROFONDITÀ
2. STRESS : SPOZZO

### ELEMENTO BEAM (vedi figura 11-1)

1. VA : TAGLIO AL PRIMO ESTREMO
2. VB : TAGLIO AL SECONDO ESTREMO
3. MA : MOMENTO AL PRIMO ESTREMO
4. MB : MOMENTO AL SECONDO ESTREMO  
(tutti per unità di profondità)

### ELEMENTO ELPL (MOLLA ELASTOPLASTICA)

1. FORCE : FORZA NELL'ELEMENTO PER UNITÀ DI PROFONDITÀ
2. PLASTIC: DEFORMAZIONE PLASTICA

### ELEMENTO WIRE (TIRANTE)

1. FORCE : FORZA NELL'ELEMENTO PER UNITÀ DI PROFONDITÀ

### ELEMENTO CELAS (MOLLA ELASTICA)

1. FORCE : FORZA NELL'ELEMENTO PER UNITÀ DI PROFONDITÀ
2. MOMENT : MOMENTO NELL'ELEMENTO PER UNITÀ DI PROFONDITÀ

### ELEMENTO SLAB (SOLETTA FRA DUE PARETI)

1. VA : TAGLIO AL PRIMO ESTREMO
2. VB : TAGLIO AL SECONDO ESTREMO
3. MA : MOMENTO AL PRIMO ESTREMO
4. MB : MOMENTO AL SECONDO ESTREMO
5. AXIAL : AZIONE ASSIALE  
(tutti per unità di profondità)

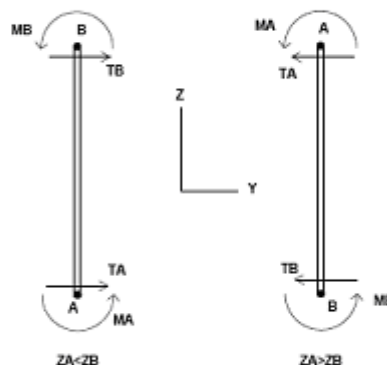


Figura 11-1: convenzioni di segno per l'elemento BEAM

L'analisi delle sezioni trasversali della paratia ai fini della verifica viene eseguita considerando il sistema di riferimento riportato nella figura seguente

- asse X coincidente con l'asse dell'asta e con verso dal nodo iniziale al nodo finale;
- immaginando la trave a sezione rettangolare l'asse Y è parallelo alla base e l'asse Z è parallelo all'altezza. La rotazione dell'asta comporta quindi una rotazione di tutta la terna locale.

Le convenzioni utilizzate per le sollecitazioni sugli elementi BEAM della paratia sono le seguenti:

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte minori: Tipologici

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 37 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### ELEMENTO TRUSS

1. FORCE : FORZA NELL'ELEMENTO PER UNITÀ DI PROFONDITÀ
2. STRESS : SPORZO

### ELEMENTO BEAM (vedi figura 11-1)

1. VA : TAGLIO AL PRIMO ESTREMO
2. VB : TAGLIO AL SECONDO ESTREMO
3. MA : MOMENTO AL PRIMO ESTREMO
4. MB : MOMENTO AL SECONDO ESTREMO  
(tutti per unità di profondità)

### ELEMENTO ELPL (MOLLA ELASTOPLASTICA)

1. FORCE : FORZA NELL'ELEMENTO PER UNITÀ DI PROFONDITÀ
2. PLASTIC: DEFORMAZIONE PLASTICA

### ELEMENTO WIRE (TIRANTE)

1. FORCE : FORZA NELL'ELEMENTO PER UNITÀ DI PROFONDITÀ

### ELEMENTO CELAS (MOLLA ELASTICA)

1. FORCE : FORZA NELL'ELEMENTO PER UNITÀ DI PROFONDITÀ
2. MOMENT : MOMENTO NELL'ELEMENTO PER UNITÀ DI PROFONDITÀ

### ELEMENTO SLAB (SOLETTA FRA DUE PARETI)

1. VA : TAGLIO AL PRIMO ESTREMO
2. VB : TAGLIO AL SECONDO ESTREMO
3. MA : MOMENTO AL PRIMO ESTREMO
4. MB : MOMENTO AL SECONDO ESTREMO
5. AXIAL : AZIONE ASSIALE  
(tutti per unità di profondità)

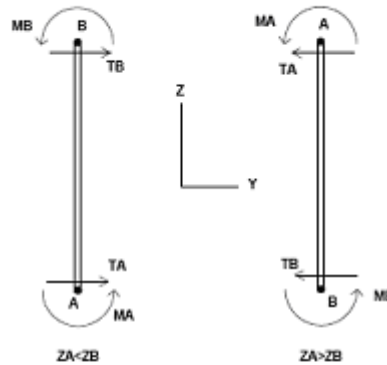


Figura 11-1: convenzioni di segno per l'elemento BEAM

## DATI INPUT:

### DATI TERRENO

Name	g tot (kN/m3)	g dry (kN/m3)	Frict (deg)	C' (kPa)	Su (kPa)	FRp (deg)	FRcv (deg)	Eload (kPa)	Eur (kPa)	kAp NL	kPp NL	kAcv NL	kPcv NL	Vary	Spring Model	Color
Ecla	19	19	25	5	N/A	N/A	N/A	20000	60000	0.41	2.46	N/A	N/A	True	Linear	
Salt	20	20	28	20	N/A	N/A	N/A	30000	48000	0.36	2.77	N/A	N/A	True	Linear	
Sch	23	23	27	60	N/A	N/A	N/A	80000	128000	0.38	2.66	N/A	N/A	True	Linear	

Name	Poisson v	Min Ka (clays)	Min sh (clays)	ko.NC -	nOCR -	aH.EXP (0 to 1)	aV.EXP (0 to 1)	qSkin (kPa)	qNails (kPa)	kS.nails (kN/m3)	PL (MPa)
Ecla	0.32	-	-	0.577	1	-	-	0	0	0	-
Salt	0.35	-	-	0.531	1	-	-	0	0	0	-
Sch	0.35	-	-	0.546	1	-	-	0	0	0	-

gtot=peso specifico /totale terreno

gdry=peso secco del terreno

Frict=angolo di attrito di calcolo

C'=coesione efficace

Su = Coesione non drenata, parametro attivo per terreni tipo CLAY in condizioni NON drenate

Dilat=Dilatanza terreno (parametro valido solo in analisi non lineare)

Evc=modulo a compressioen vergine molla equivalente terreno

Eur=modulo di scarico/ricarico (fase elastica) molla equivalente terreno

kAp= coefficiente di spinta attiva di picco

kPp= coefficiente di spinta passiva di picco

kAcv= coefficiente di spinta attiva di picco

kPcv= coefficiente di spinta passiva di picco

Spring models= modalità di definizione dei moduli di rigidezza molle terreno (LIN, EXP, SIMC)

LIN= Lineare-Elastico-Perfettamente plastico

EXP: esponenziale, SUB: Modulo di reazione del sottosuolo

SIMC= Modo semplificato per argille

### STRATIGRAFIA TERRENI

Top Elev= quota superiore strato

Soil type=nome del terreno

OCR=rapporto di sovraconsolidazione

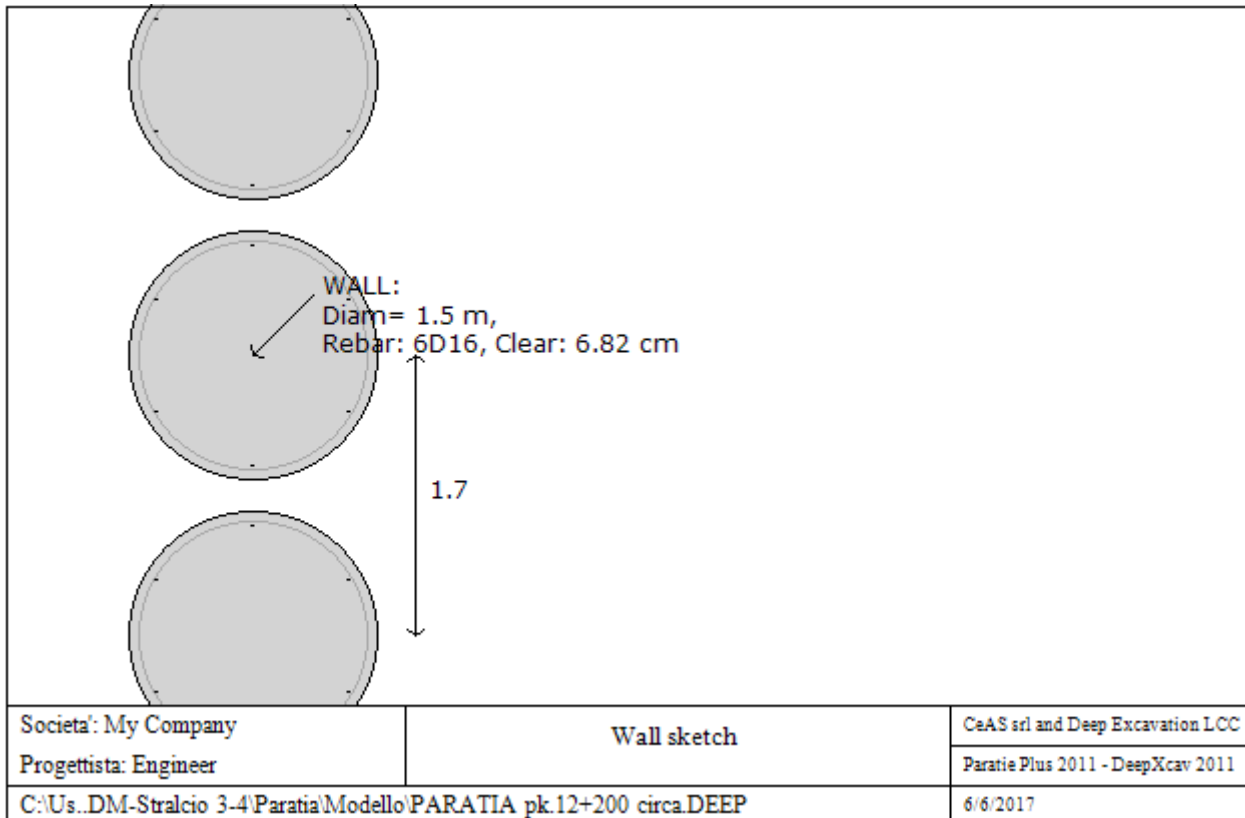
K0=coefficiente di spinta a riposo

Nome: Boring 1, pos: (-20, 0)

Top elev.	Soil type	OCR	Ko
0	Ecla	1	0.58
-5	Salt	1	0.53
-8	Sch	1	0.55

## DATI PARATIE

Sezioni paratia0: Wall 1



Sezioni paratia0: Wall 1

Tipo paratia: Pali tangenti: pali in calcestruzzo armato

Quota sommita' paratia: 0 m Quota piede paratia: -19.2 m

Dimensione fuori piano paratia: 1.7 Spessore paratia = 1.5

Ampiezza zona spinta passiva al di sotto del piano di scavo: 1.7 Ampiezza zona spinta attiva al di sotto del piano di scavo: 1.7 Swater= 1.5

 $f_c' / c_s = 20$   $F_y \text{ barre} = 409.7$   $E_{c_s} = 29961.9$   $F_{cT} \text{ calcestruzzo a trazione} = 10\% \text{ di } F_c'$ 

Attrito paratia: % attrito terreno = 0%

Le capacita' paratie in acciaio sono calcolate con NTC 2008

Le capacita' paratie in calcestruzzo sono calcolate con NTC 2008

Nota: con la capacita' ultima si dovrebbe adottare un fattore di sicurezza strutturale.

Proprieta' paratie di pali tangenti

Tipo di sezione di calcestruzzo:

Dimensioni della sezione

 $D = 150 \text{ cm}$ ,  $A = 17671.4586764426 \text{ cm}^2$ ,  $I_{xx} = 24850488.7637474 \text{ cm}^4$ 

Armatura longitudinale

Barre cima: N = 50 barre #D24

Armatura a taglio

Bar #D10, sV = 10 cm

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte minori: Tipologici

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 40 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

### DATI GENERALI PARATIA

Hor wall spacing=interasse tra pannelli

passive width below exc=larghezza di riferimento per calcolo zona passiva per analisi classica

concrete  $f'c=fck$ =res cilindrica caratteristica cls

Rebar  $f_y=f_{yk}$ =res caratteristica acciaio armature

Econc=modulo elastico cls

Concrete tension  $f_{ct}=f_{ctk}$ =resistenza caratteristica a trazione cls

Steel members  $f_y=f_{yk}$ =res caratteristica acciaio

Esteel=modulo elastico acciaio

DATI TABELLATI (si omette la spiegazione dei parametri già descritti in precedenza)

1) Diaphragm wall=sezione rettangolare in CA

N/A= il valore non è disponibile in quanto non correlato al tipo di sezione in uso

$F_y=f_{yk}$

$F'c=fck$

D=altezza paratia

B=base paratia

$t_f$ =spessore

2) Steel sheet pile=palancolata

DES=tipo di palancolata

Shape=forma

W=peso per unità di lunghezza

A=area

h=altezza

t=spessore lamiera orizzontale

b=base singolo elemento a Z o U

s=spessore lati obliqui

$I_{xx}$ =inerzia asse principale palancolata (per unità di lunghezza)

$S_{xx}$ =modulo di resistenza asse principale palancolata (per unità di lunghezza)

3) Secant pile wall (pali allineati e sovrapposti), Tangent pile wall=pali allineati (Berlinesi, micropali), soldier pile (pali in acciaio con collegamento in cls), soldier pile and timber lagging (pali in acciaio con collegamento con elementi in legno)

W=peso per unità di lunghezza

A=area

D=diametro

$t_w$  o  $t_p$ =spessore dell'anima (sezione a I) o del tubo (sezione circolare)

bf=larghezza della sezione

$t_f$ =spessore dell'ala

k=altezza flangia + altezza raccordo

$I_{xx}$ =inerzia rispetto asse orizzontale (per unità di lunghezza)

$S_{xx}$ =modulo di resistenza rispetto asse orizzontale (per unità di lunghezza)

$r_x$ =raggio giratore d'inerzia lungo x

$I_{yy}$ =inerzia rispetto asse verticale (per unità di lunghezza)

$S_{yy}$ =modulo di resistenza rispetto asse verticale (per unità di lunghezza)

$r_y$ =raggio giratore d'inerzia lungo y

Cw=costante di ingobbamento

$f_y=f_{yk}$



## DATI PER AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata modellata facendo uso di un approccio pseudostatico.

### Summary of stage assumptions

Stage	Seismic g	Method	aX	aY	Beta	Building Code Used
Number	Used	Used	(g)	(g)		(Name)
0	No		0.241	0.12	0.75	N/A
1	No		0.241	0.12	0.75	N/A
2	Yes		0.155	0.078	0.75	N/A

N/A= parametro non disponibile

Stage number=fase di scavo

Seismic ag Used=se nello step è stata attivato il sisma

Method=metodo per calcolo spinta sismica

ax=accelerazione ah orizzontale di progetto

ay=accelerazione av verticale di progetto

Beta=coeff moltiplicatore spinta sismica (per norma USA)

Buildind code=normativa per calcolo accelerazione

## SINTESI OUTPUT:

### SOMMARIO RISULTATI ANALISI E VERIFICHE

Nel seguito si riportano, sotto forma di tabelle e grafici:

- i risultati più gravosi di tutti gli approcci di progetto;
- i risultati più gravosi divisi per Approcci di Progetto e per fasi.

#### Sommario per ogni Approccio di Progetto

Base model	Momento paratia	Taglio paratia	Spostamento X paratia	Max reazione vincoli	Verifica vincoli	Verifica infissione	Esito calcolo
0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	(kN-m/m)	(kN/m)	(cm)	(kN/m)	(TSF)	(FS)	
Base model	2098.7	397.94	5.71	Nessun vincolo	Nessun vincolo	1.801	Risolto con successo
0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	1533.09	331.41	2.93	Nessun vincolo	Nessun vincolo	1.901	Risolto con successo
0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1	1418.9	312.56	4.02	Nessun vincolo	Nessun vincolo	1.709	Risolto con successo
0: DM08_ITA: EQK - GEO	2539.8	541.93	13.04	Nessun vincolo	Nessun vincolo	1.364	Risolto con successo
0: DM08_ITA: EQK - STR	2098.7	397.94	5.71	Nessun vincolo	Nessun vincolo	1.801	Risolto con successo
0: DM08_ITA: SLE: (RARA)	1179.3	254.93	2.93	Nessun vincolo	Nessun vincolo	2.288	Risolto con successo

#### Sommario esteso a tutti gli Approcci di Progetto

	Esito calcolo	Spostamento X paratia	Cedimento Z terreno	Momento paratia	Momento paratia
		(cm)	(cm)	(kN-m/m)	(kN-m)
Base model	Risolto con successo. Verifiche della paratia non eseguite.	5.71	3.94	2098.7	3567.79
0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	Risolto con successo. Verifiche della paratia non eseguite.	2.93	2.01	1533.09	2606.25
0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1	Risolto con successo. Verifiche della paratia non eseguite.	4.02	2.86	1418.9	2412.13
0: DM08_ITA: EQK - GEO	Risolto con successo. Verifiche della paratia non eseguite.	13.04	10.58	2539.8	4317.66
0: DM08_ITA: EQK - STR	Risolto con successo. Verifiche della paratia non eseguite.	5.71	3.94	2098.7	3567.79
0: DM08_ITA: SLE: (RARA)	Risolto con successo. Verifiche della paratia non eseguite.	2.93	2.01	1179.3	2004.81

	Taglio paratia	Taglio paratia	Verifica paratia	Verifica pressofl.	Verifica taglio	Verifica $\sigma$ cls
	(kN/m)	(kN)	(TSF)	(TSF)	(TSF)	(TSF)
Base model	397.94	676.5	N/A	N/A	N/A	N/A
0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	331.41	563.4	N/A	N/A	N/A	N/A

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte minori: Tipologici

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 43 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1	312.56	531.35	N/A	N/A	N/A	N/A
0: DM08_ITA: EQK - GEO	541.93	921.28	N/A	N/A	N/A	N/A
0: DM08_ITA: EQK - STR	397.94	676.5	N/A	N/A	N/A	N/A
0: DM08_ITA: SLE: (RARA)	254.93	433.38	N/A	N/A	N/A	N/A

	Verifica $\sigma$ armatura	Max reazione vincoli	Max reazione vincoli	Verifica vincoli	Verifica STR vincoli	Verifica GEO vincoli
	(TSF)	(kN/m)	(kN)	(TSF)	(TSF)	(TSF)
Base model	N/A	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo
0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	N/A	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo
0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1	N/A	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo
0: DM08_ITA: EQK - GEO	N/A	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo
0: DM08_ITA: EQK - STR	N/A	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo
0: DM08_ITA: SLE: (RARA)	N/A	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo	Nessun vincolo

	Verifica fondo scavo (FS)	FS passiva (eq. limite)	FS rotazione (eq. limite)	FS infissione (eq. limite)	Quota Zcut	Passiva/Vera	Vera/Attiva
	(FS)	(FS)	(FS)	(FS)		/	/
Base model	2.061	4.004	2.276	1.801	N/A	2.437	1.493
0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	2.061	3.551	2.303	1.901	N/A	3.435	1.493
0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1	1.649	2.667	1.813	1.709	N/A	2.416	1.122
0: DM08_ITA: EQK - GEO	1.649	2.379	1.471	1.364	N/A	1.591	1.122
0: DM08_ITA: EQK - STR	2.061	4.004	2.276	1.801	N/A	2.437	1.493
0: DM08_ITA: SLE: (RARA)	2.061	4.616	2.994	2.288	N/A	3.435	1.493

	Verifica sifonamento	Qflow	FSslope
	(FS)	(m3/hr)	
Base model	1.97	N/A	N/A
0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	1.364	N/A	N/A
0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1	1.364	N/A	N/A
0: DM08_ITA: EQK - GEO	1.364	N/A	N/A
0: DM08_ITA: EQK - STR	1.97	N/A	N/A
0: DM08_ITA: SLE: (RARA)	1.97	N/A	N/A

## 2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte minori: Tipologici

Relazione tecnica e di calcolo opere di sostegno in c.a. (paratia di pali)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU0000	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 44 di 44
----------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Tabella risultati più gravosi

	Valore critico	Approccio di Progetto	Fase	Paratia	Indice voci critiche
Wall Moment (kN-m/m)	2539.8	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	52
Momento (kN-m)	4317.66	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	52
Taglio (kN/m)	541.93	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	1: Scavo max	1: Wall 1	0
Taglio (kN)	921.281	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	1: Scavo max	1: Wall 1	0
Spostamenti (cm)	13.043	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	N/A
Cedimenti superficiali (cm)	10.576	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	0
FS infissione (eq. limite)	2.379	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	2
FS rotazione (eq. limite)	1.471	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	2
FS lunghezza di infissione (eq. limite)	1.364	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	2
FS spinta passiva mob. (analisi NL)	1.591	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	2
Infissione occorrente per FS=1 (eq. limite) (m)	9.31	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	2

Risultati paratia

	Valore critico	Approccio di Progetto	Fase	Paratia	Indice voci critiche
Momento ABS (kN-m)	4317.66	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	52
Momento +M (kN-m)	0	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	52
Momento -M (kN-m)	-4317.66	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	2: Fase 2	1: Wall 1	52
Taglio (kN)	921.281	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	1: Scavo max	1: Wall 1	0

Momento massimo fase per fase

	Approccio di Progetto	DS: 1	DS: 2	DS: 3	DS: 4	DS: 5
Momento fase0 (kN-m/m)	DS: 0	DS: 1	DS: 2	DS: 3	DS: 4	DS: 5
Momento fase1 (kN-m/m)	-1179.3	-1533.09	-1418.9	-1418.9	-1179.3	-1179.3
Momento fase2 (kN-m/m)	-2098.7	-1533.09	-1418.9	-2539.8	-2098.7	-1179.3

Taglio massimo fase per fase

	Approccio di Progetto	DS: 1	DS: 2	DS: 3	DS: 4	DS: 5
V stg0 (kN/m)	DS: 0	DS: 1	DS: 2	DS: 3	DS: 4	DS: 5
V stg1 (kN/m)	254.93	331.41	312.56	312.56	254.93	254.93
V stg2 (kN/m)	397.94	331.41	312.56	-541.93	397.94	254.93