

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)**

Opere di sostegno viabilità - Lotto 3a

NV12B: Paratia di pali MU22A

Relazione di calcolo

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS3T 30 D 26 CL MU22A0 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Feb-2020	M.Salleolini 	Feb-2020	A.Barreca 	Feb-2020	F.Sacchi Feb-2020

File: RS3T.3.0.D.26.CL.MU.22.A.0.001.A

n. Elab.: 26\_619

## INDICE

1.	PREMESSA.....	4
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
4.	UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	6
5.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	7
5.1	CALCESTRUZZO .....	7
5.2	ACCIAIO IN BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA B450C.....	8
6.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	9
7.	CRITERI DI VERIFICA PARATIE .....	10
7.1	VERIFICHE GEOTECNICHE SLU IN CONDIZIONI STATICHE .....	10
7.2	VERIFICHE GEOTECNICHE SLV (CONDIZIONI SISMICHE) .....	10
7.3	STABILITÀ GLOBALE .....	11
7.4	VERIFICHE GEOTECNICHE SLE .....	12
7.5	VERIFICHE STRUTTURALI SLU .....	12
7.6	VERIFICHE STRUTTURALI SLE.....	12
7.6.1	<i>Verifiche alle tensioni</i> .....	12
7.6.2	<i>Verifiche a fessurazione</i> .....	13
8.	ANALISI DEI CARICHI .....	15
8.1	CARICHI PERMANENTI.....	15
8.1.1	<i>Spinta del terreno</i> .....	15
8.2	VALUTAZIONE DELL' AZIONE SISMICA .....	16
8.2.1	<i>Vita nominale</i> .....	16
8.2.2	<i>Classe d'uso</i> .....	16
8.2.3	<i>Periodo di riferimento</i> .....	16
8.2.4	<i>Parametri sismici</i> .....	16
9.	COMBINAZIONI DI CARICO.....	20

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)          OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</p>												
<p>NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3T</td> <td>30 D 26</td> <td>CL</td> <td>MU 22 A 0 001</td> <td>A</td> <td>3 di 30</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	30 D 26	CL	MU 22 A 0 001	A	3 di 30
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	30 D 26	CL	MU 22 A 0 001	A	3 di 30								

10. PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA TIPO 1.....	22
10.1 DATI DI INPUT.....	22
10.2 FASI DI CALCOLO.....	22
10.3 RISULTATI DELLE ANALISI.....	24
10.4 VERIFICHE GEOTECNICHE.....	26
10.4.1 Verifiche SLE.....	26
10.4.2 Verifica di stabilità globale.....	27
10.5 VERIFICHE STRUTTURALI.....	28

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)          OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A	FOGLIO 4 di 30

## 1. **PREMESSA**

Il presente documento riguarda il dimensionamento della paratia di pali MU22A situata in corrispondenza della nuova viabilità NV12B, presente nell'ambito del Progetto Definitivo della Direttoria Ferroviaria Messina – Catania – Palermo - Nuovo Collegamento Palermo – Catania, Tratta Lercara Dir. – Caltanissetta Xirbi (Lotto 3) dalla progressiva chilometrica 0+000 alla 18+636 (lotto 3a).

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)          OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A	FOGLIO 5 di 30

## 2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

L'interpretazione dei risultati e la redazione della presente relazione sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore.

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

**Norme Tecniche per le Costruzioni** - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);

**Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019** - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;

**Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea.** Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.

**Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2**

**RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21-12-18** - Manuale di Progettazione delle Opere Civili

## 3. **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

Vengono presi a riferimento i seguenti elaborati grafici progettuali di pertinenza:

RS3T.3.0.D.26.P9.MU.22.A.0.001: "NV12B: Paratia di pali MU22A - Pianta, prospetto e sezioni"

RS3T.3.0.D.26.GE.GE.00.0.0.001: "Relazione geotecnica generale - Lotto 3A"

RS3T.3.0.D.26.F6.GE.00.0.0.019: "Profilo geotecnico viabilità NV12B"

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

#### 4. UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale (SI):

unità di misura principali

N (Newton)	unità di forza
m (metro)	unità di lunghezza
kg (kilogrammo-massa)	unità di massa
s (secondo)	unità di tempo

unità di misura derivate **kN**

(kiloNewton)	103N
<b>MN</b> (megaNewton)	106N
<b>kgf</b> (kilogrammo-forza)	1 kgf = 9.81 N
<b>cm</b> (centimetro)	10-2 m
<b>mm</b> (millimetro)	10-3 m
<b>Pa</b> (Pascal)	1 N/m <sup>2</sup>
<b>kPa</b> (kiloPascal)	103 N/m <sup>2</sup>
MPa (megaPascal)	106 N/m <sup>2</sup>
N/m <sup>3</sup>	(peso specifico)
<b>g</b> (accelerazione di gravità)	~9.81 m/s <sup>2</sup>

corrispondenze notevoli

1 MPa = 1 N/mm <sup>2</sup>
1 MPa ~ 10 kgf/cm <sup>2</sup>
1 kN/m <sup>3</sup> ~ 100 kgf/m <sup>3</sup>

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

$\gamma$ (gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m <sup>3</sup> )
$\sigma$ (sigma)	tensione normale	(N/mm <sup>2</sup> )
$\tau$ (tau)	tensione tangenziale	(N / mm <sup>2</sup> )

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

$\varepsilon$  (epsilon) deformazione (m/m) -

$\phi$  (fi) angolo di resistenza ( $^{\circ}$  sessagesimali)

## 5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali sono ricavate con riferimento alle indicazioni contenute nei capitoli 4 e 11 del D.M. 17 gennaio 2018. Nelle tabelle che seguono sono indicate le principali caratteristiche e i riferimenti dei paragrafi del D.M. citato.

### 5.1 Calcestruzzo

- Elemento strutturale: *pali*

Classe di resistenza = C25/30;

$R_{ck}$  = resistenza cubica = 30 N/mm<sup>2</sup>;

$f_{ck}$  = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83  $R_{ck}$  = 24.9 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{cm}$  = resistenza cilindrica media =  $f_{ck} + 8$  = 32.9 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{cd}$  =  $\alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$  = 14.11 N/mm<sup>2</sup>;

$f_{ctm}$  = resistenza a trazione media =  $0.30 \times f_{ck}^{2/3}$  = 2.56 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{cfm}$  = resistenza a traz. per flessione media =  $1.20 \times f_{ctm}$  = 3.07 N/ mm<sup>2</sup>;

$f_{cfk}$  = resistenza a traz. per flessione carati. =  $0.70 \times f_{cfm}$  = 2.15 N/ mm<sup>2</sup>;

$E_{cm}$  = modulo elast. tra 0 e 0.40 $f_{cm}$  =  $22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$  = 31447.2 N/ mm<sup>2</sup>;

Classe di esposizione XC2

Copriferro = 60 mm

Tolleranza di posa del copriferro = 10 mm;

Condizioni ambientali: normali

Apertura fessure limite:  $w_1$  = 0.2 mm

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

## 5.2 Acciaio in barre ad aderenza migliorata B450C

L'acciaio per cemento armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli:

$f_{v\ nom}$	450 N/mm <sup>2</sup>
$f_{t\ nom}$	540 N/mm <sup>2</sup>

Tabella 5-1 Tensioni caratteristiche acciaio.

E deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella:

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	$\geq f_{v\ nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq f_{t\ nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_v/f_{vnom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$ :	$\geq 7,5\ %$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12\ mm$	4 $\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16\ mm$	5 $\phi$	
per $16 < \phi \leq 25\ mm$	8 $\phi$	
per $25 < \phi \leq 40\ mm$	10 $\phi$	

Tabella 5-2 Requisiti acciaio.

Inoltre si ha:

- $E_s = 210000\ N/mm^2$
- Sovrapposizioni barre  $\geq 40\phi$

Resistenza di calcolo dell'acciaio per la verifica agli SLU ( $\gamma_s=1.15$ ):

Resistenza di calcolo a rottura per trazione e deformazione corrispondente:

- $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391.3\ N/mm^2$
- $\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 0.186\ %$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

## 6. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica alla quale si rimanda per qualsiasi approfondimento. Si riportano a seguire la stratigrafia e i parametri meccanici utilizzati nei calcoli (valori medi dell'intervallo di variabilità riportato nella relazione geotecnica).

Unità litologiche da p.c.	da [m]	a [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [kPa]	$\phi'_k$ [°]
TRV	0.00	-	21	20	20

*Tabella 6-1 – Valori di calcolo dei parametri geotecnici del terreno*

La falda viene posta cautelativamente a fondo scavo.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

## 7. CRITERI DI VERIFICA PARATIE

### 7.1 Verifiche geotecniche SLU in condizioni statiche

Le verifiche delle paratie sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

- collasso del complesso opera-terreno;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi,
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

Per le strutture di sostegno flessibili si adotta l'Approccio Progettuale 1 con le due combinazioni di coefficienti parziali (tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I del DM 17/01/2018):

- combinazione 1: A1 + M1 + R1
- combinazione 2: A2 + M2 + R1.

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto con la verifica di stati limite ultimi GEO, applicando la Combinazione 2 (A2+M2+R1); per le verifiche di stati limite ultimi STR l'analisi è stata invece condotta con la combinazione 1 (A1+M1+R1).

Al fine di rispettare le richieste della Normativa in merito al modello geometrico di riferimento (§6.5.2.2 DM 17/01/2018) nel caso di opere in cui la funzione di sostegno è affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, la quota di valle è diminuita di:

$$\Delta h = \min (0.5; 10\% \Delta t)$$

in cui  $\Delta t$  è la differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo.

Per le verifiche di stabilità globale è stato applicato l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2 – tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I del DM 17/01/2018).

Le verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Paratie Plus.

### 7.2 Verifiche geotecniche SLV (condizioni sismiche)

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), con riferimento alla configurazione finale dell'opera di sostegno. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono pari all'unità. Si adotta il metodo pseudostatico, calcolando il coefficiente sismico orizzontale secondo le prescrizioni della normativa (DM 17/01/2018):

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right)$$

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

dove:

- $a_{max}$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,
- $\alpha$  è il coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018);
- $\beta$  è il coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/2018).

Per la definizione dell'azione sismica si rimanda al paragrafo 7.4. L'effetto del sisma sulle strutture di sostegno è ottenuto applicando un incremento di spinta (cfr § 7.11.6.3.1 del D.M. 17/01/2018 e § C7.11.6.3 della Circolare 7/19) del terreno valutato secondo la teoria di Mononobe-Okabe, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione uniforme sull'intera altezza dell'opera.

$$\Delta S_E = \left[ \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot (K_{aE} - K_a) \right] / H,$$

dove:  $\gamma$  rappresenta il peso dell'unità di volume della formazione con la quale l'opera interagisce,  $H$  rappresenta l'altezza totale dell'opera (comprensiva del tratto infisso),  $K_{aE}$  e  $K_a$  rappresentano i coefficienti di spinta attiva in condizioni sismiche e statiche rispettivamente.

Per la valutazione della spinta passiva si assume  $\alpha=1$  (§7.11.6.3 del DM 17/01/2018). Il coefficiente sismico verticale,  $k_v$ , si assume pari a 0 (§7.11.6.3 del DM 17/01/2018).

I coefficienti di spinta attiva sono determinati attraverso la relazione di Mononobe (1929) e Okabe (1926). I coefficienti di spinta passiva sono determinati attraverso la relazione di Lancellotta (2007). L'angolo di attrito terreno/struttura,  $\delta$ , si assume pari a 1/2 della resistenza al taglio del terreno naturale.

### 7.3 Stabilità globale

Per la valutazione della superficie di scorrimento critica (ed in generale di tutte le superfici di scorrimento) è stato utilizzato il metodo di Bishop.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi SLV, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_h = k_h \cdot W \quad \text{ed} \quad F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$  pari rispettivamente ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g \quad \text{e} \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

in cui:

$\beta_s$ : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$ : accelerazione orizzontale massima attesa al sito (cfr. §7.4).

$g$ : accelerazione di gravità.

Il valore di  $\beta_s$  è assunto pari a 0.38 coerentemente con le indicazioni del §7.11.4 delle DM 17/01/2018.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A	FOGLIO 12 di 30

#### 7.4 Verifiche geotecniche SLE

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione [6.2.7] delle NTC 2018:

$$E_d \leq C_d$$

essendo  $E_d$  e  $C_d$  rispettivamente il valore di progetto dell'effetto delle azioni e il prescritto valore limite dell' effetto delle azioni (spostamenti, rotazioni, distorsioni, ecc.).

In particolare, dovranno essere valutati gli spostamenti delle opere di sostegno e del terreno circostante per verificarne la compatibilità con la funzionalità delle opere stesse e con la sicurezza e funzionalità dei manufatti adiacenti, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali.

#### 7.5 Verifiche strutturali SLU

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15;

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio.

#### 7.6 Verifiche strutturali SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attese, secondo quanto di seguito specificato.

##### 7.6.1 Verifiche alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento " Manuale di progettazione opere civili"

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

### Strutture in c.a.

#### Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazione di carico caratteristica (rara):  $0,55 f_{ck}$ ;
- per combinazioni di carico quasi permanente:  $0,40 f_{ck}$ ;
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

#### Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare  $0,75 f_{yk}$ .

### 7.6.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente.

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente [NTC – Tabella 4.1.IV]:

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
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	$\leq w_1$

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 7-1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e condizioni ambientali

Risultando:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm} \quad w_2 = 0.3 \text{ mm} \quad w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite specifiche RFI (Manuale di Progettazione delle Opere Civili - parte II - sezione 2- Requisiti concernenti la fessurazione per strutture in c.a., c.a.p. e miste acciaio-calcestruzzo) secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a					
NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A	FOGLIO 14 di 30

caratteristica (rara). Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 14.1.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

Combinazione Caratteristica (Rara)

$$\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura prevista al punto " C4.1.2.2.4.5 Verifica allo stato limite di fessurazione" della Circolare n.7/19.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A	FOGLIO 15 di 30

## 8. ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

Tutti i carichi elementari si riferiscono all'unità di sviluppo dell'opera, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

### 8.1 Carichi permanenti

#### 8.1.1 Spinta del terreno

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo Paratie, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra il terreno e la struttura deformabile, a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ , il coefficiente di spinta attiva  $K_a$  e il coefficiente di spinta passiva  $K_p$ .

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

## 8.2 Valutazione dell'azione sismica

### 8.2.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel presente caso l'opera viene inserita nella seguente tipologia di costruzione:

#### 2) Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari:

La cui vita nominale è pari a: 50 anni.

### 8.2.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla seguente classe d'uso:

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

Il coefficiente d'uso è pari a 1.50.

### 8.2.3 Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$  ricavato, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ . Pertanto  $V_R = 50 \times 1.5 = 75$  anni.

### 8.2.4 Parametri sismici

Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{C_u V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Stati Limite	$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 8-1 – Probabilità di superamento al variare dello stato limite considerato.

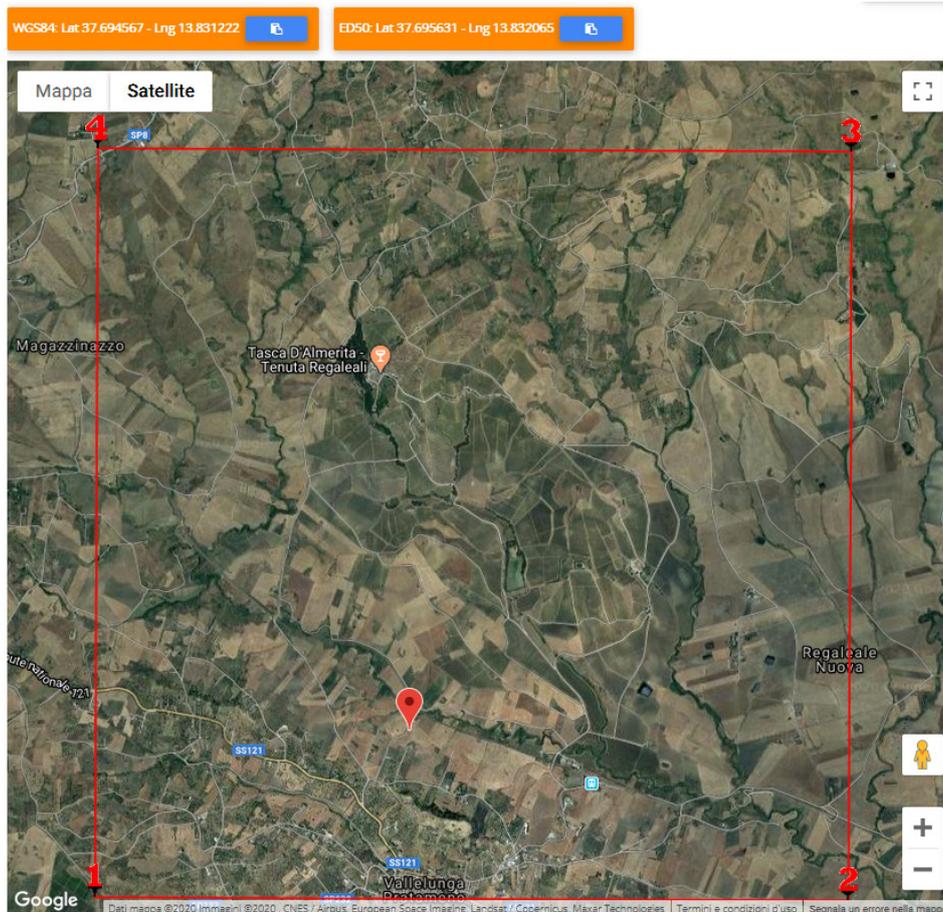


Figura 8-1 –Localizzazione del sito.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 22 A 0 001</b>	REV. <b>A</b>

Da cui si ottiene la seguente tabella:

### Stati limite

	Classe Edificio				
	III. Affollamento significativo...				
	Vita Nominale	50			
	Interpolazione	Media ponderata			
<b>CU = 1.5</b>					
Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]	
Operatività (SLO)	45	0.039	2.462	0.255	
Danno (SLD)	75	0.048	2.449	0.285	
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.100	2.625	0.364	
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.122	2.668	0.385	
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75				

Tabella 8-2 – Parametri relativi all'azione sismica.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale. Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018. I terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di Categoria C. In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione.

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 8-3 – Categorie topografiche.

L'area interessata risulta classificabile come T1.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2018 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente  $S = S_S S_T$  e di  $C_C$  in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti alle tabelle di seguito riportate:

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

Tabella 8-4 – Espressioni di  $S_S$  e  $C_C$ .

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 di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 8-5 – Valori massimi dei coefficienti di amplificazione topografica  $S_T$ .

Nel caso in esame quindi si ha:

 Cat. Sottosuolo	C			
 Cat. Topografica	T1			
	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,65	1,59	1,47	1,44
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

## 9. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2018 al par.2.5.3:

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:  

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili:  

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:  

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:  

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:  

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Per le verifiche si deve tenere conto dei coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze.

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_f$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qk}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{Gk}$

Tabella 9-1 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a</b>					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

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	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tabella 9-2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Tabella 9-3 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza SLU di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

Le combinazioni sismiche sono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con gli opportuni coefficienti parziali  $\gamma_R$ .

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1.2

Tabella 9-4 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza SLV di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO VIABILITÀ – LOTTO 3a					
	NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 22 A 0 001	REV. A

## 10. PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA TIPO 1

### 10.1 Dati di input

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche dell'opera adottate nelle analisi.

Tipologia struttura di sostegno	pali $\phi 1000$ ad interasse 1.20 m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 16.20$ m (1.20 m cordolo + 15.0 m palo)
Altezza di scavo (da estradosso cordolo)	$H = 6.0$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% \Delta t] = 6.5$ m
Inclinazione del piano campagna a monte	$0.0^\circ$
Inclinazione del piano campagna a valle	$0.0^\circ$
Sovraccarichi permanenti a monte	$g = 0$ kPa
Sovraccarichi permanenti a valle	$g = 0$ kPa
Sovraccarichi accidentali a monte	$q = 0$ kPa
Sovraccarichi variabili a valle	$q = 0$ kPa

Tabella 10-1 - Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo.

### 10.2 Fasi di calcolo

Nel programma di calcolo Paratie Plus sono state implementate le seguenti fasi di calcolo:

- 1) Realizzazione della paratia
- 2) Scavo fino a quota di progetto
- 3) Applicazione azione sismica.

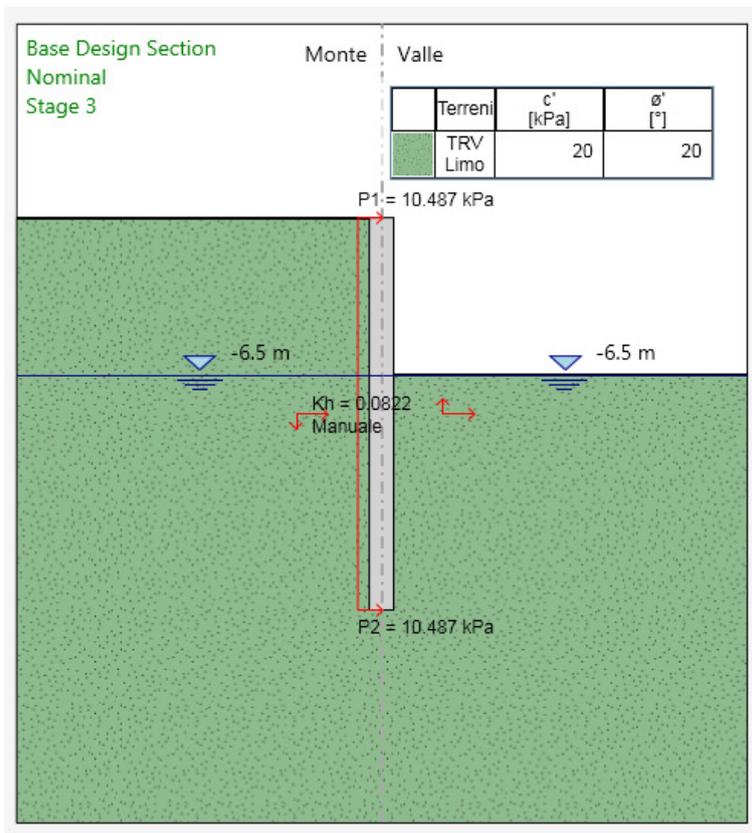


Figura 10-1 – Schema di calcolo paratia.

### 10.3 Risultati delle analisi

A seguire si riportano i diagrammi del momento flettente e del taglio ottenuti dalle analisi.

	Sollecitazioni a metro lineare			Sollecitazioni sul singolo palo		
	M (kNm/m)	z (Mmax) (m)	T (kN/m)	M (kNm)	N (kN)	T (kN)
SLE	177.48	8.8	-	212.97	172.7	-
SLU	230.72	8.8	95.51	276.86	172.7	114.61
SLV	706.65	10.4	192.12	847.98	196.25	230.54

Tabella 10-2 – Riepilogo sollecitazioni.

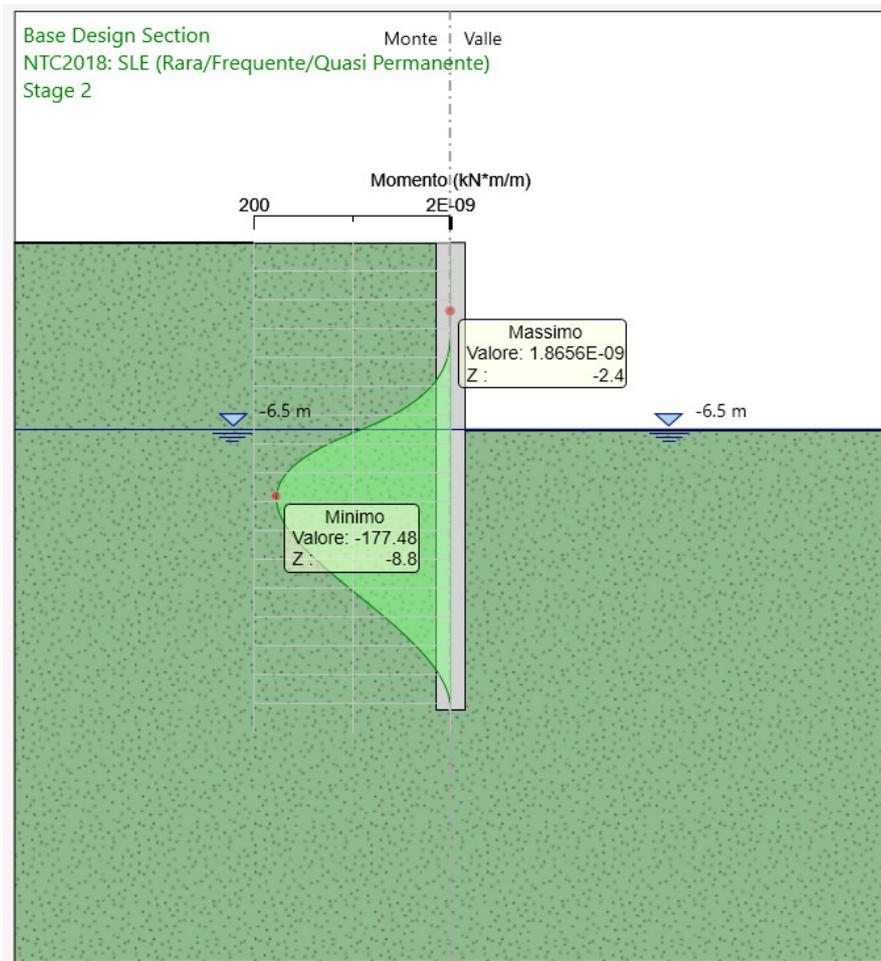


Figura 10-2 – Momento SLE.

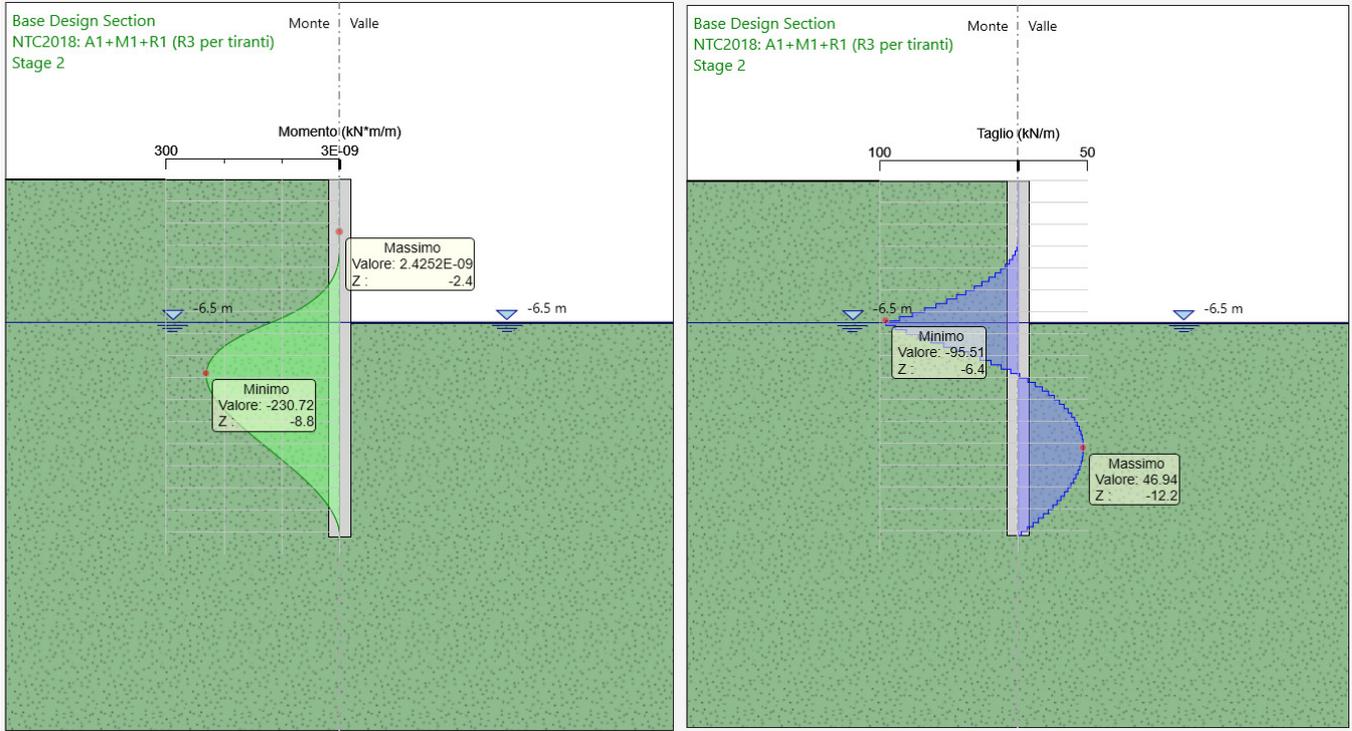


Figura 10-3 – Momento e taglio SLU.

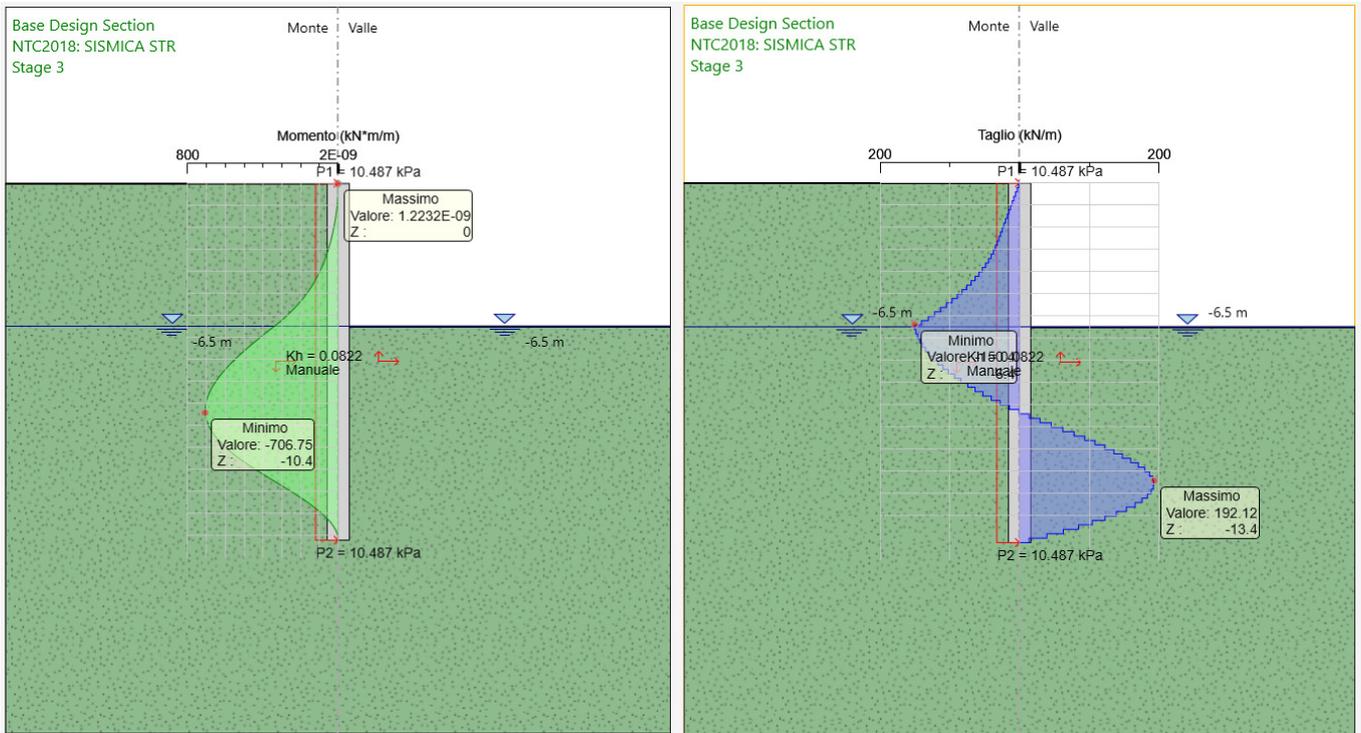


Figura 10-4 – Momento e taglio SLV.

## 10.4 Verifiche geotecniche

### 10.4.1 Verifiche SLE

Nell'immagine che segue si riporta lo spostamento della paratia in fase 3.

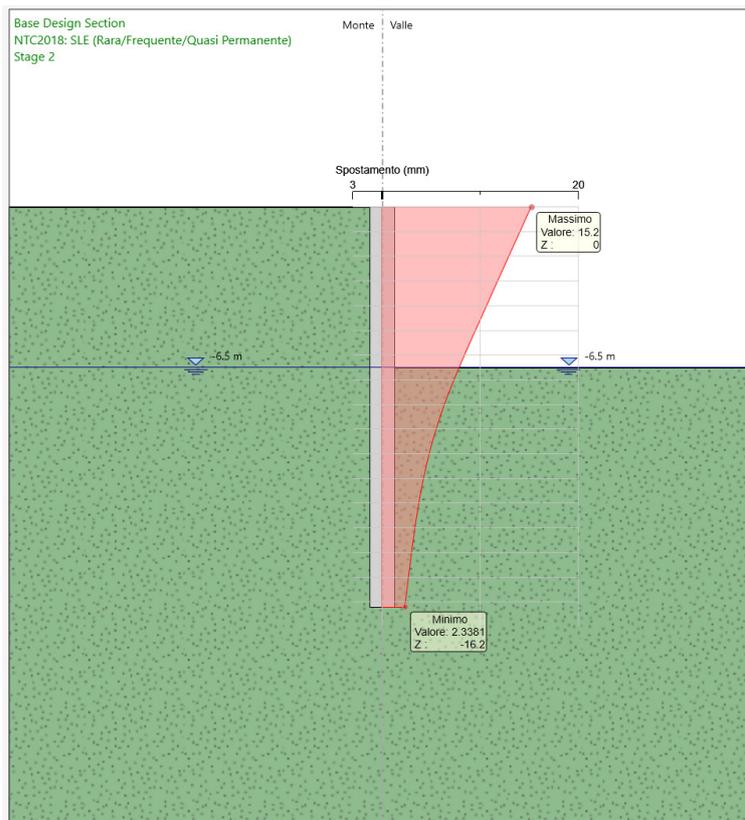
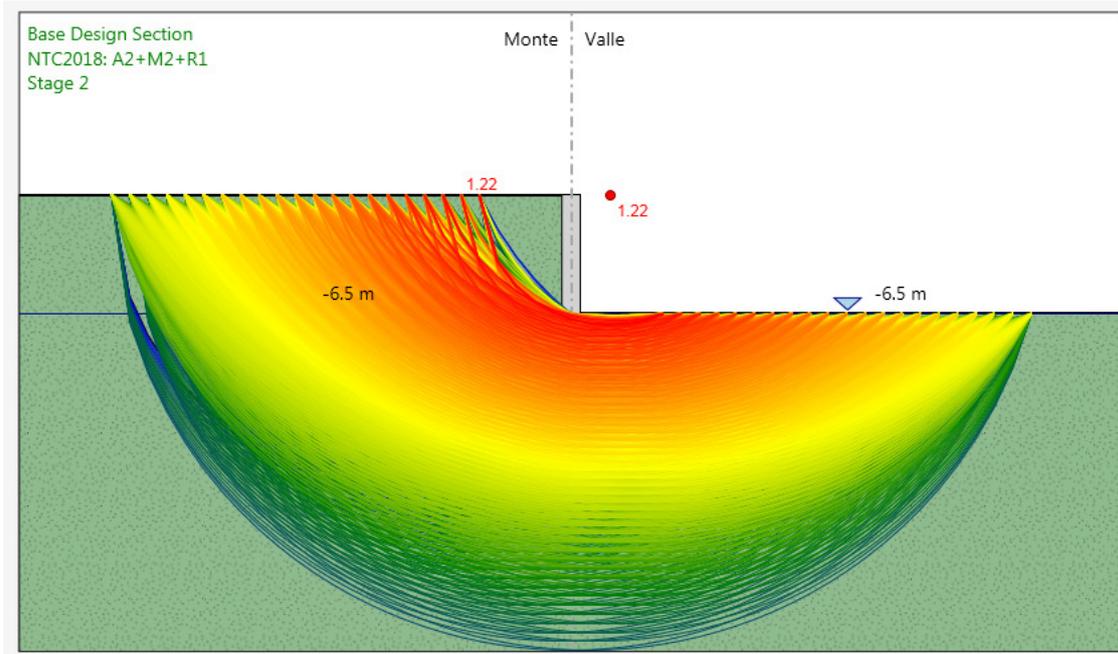


Figura 10-5 – Deformata dell'opera di sostegno nella configurazione di fondo scavo.

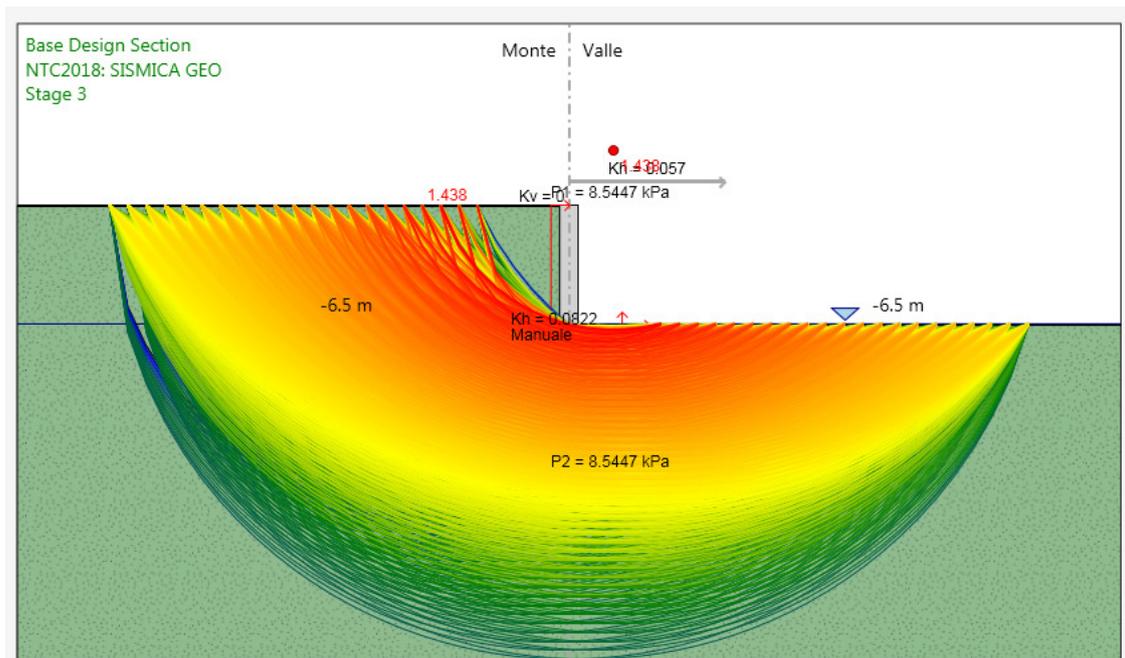
La deformata dell'opera rientra nei limiti progettuali stabiliti.

### 10.4.2 Verifica di stabilità globale

- Verifica stabilità globale del sistema opera – terreno in condizioni statiche



- Verifica stabilità globale del sistema opera – terreno in condizioni simiche



## 10.5 Verifiche strutturali

### DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

#### NOME SEZIONE: MU22A

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di Palo
Forma della sezione:	Circolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	141.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Resistenza compress. ridotta fcd':	70.80	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	25.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	137.50	daN/cm <sup>2</sup>
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0	daN/cm <sup>2</sup>	

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	100.0	cm
Barre circonferenza:	24Ø20	(75.4 cm <sup>2</sup> )
Coprif.(dal baric. barre):	9.2	cm

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	17270	27686	11461	0
2	19625	84798	23054	0

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 22 A 0 001	A	29 di 30

N°Comb.	N	Mx
1	17270	21297

## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	8.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	8.7	cm
Copriferro netto minimo staffe:	7.0	cm

## VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata

N Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)

Mx Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico

N Ult Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)

Mx rd Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico

Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$

Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.

x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere  $< 0.45$

C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

As Tesa Area armature long. trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	17270	27686	17274	113828	4.111	26.0	0.26	0.77	53.4 (15.7)
2	S	19625	84798	19631	114507	1.350	25.9	0.27	0.77	53.4 (15.7)

## DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione

Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)

es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)

Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)

Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	50.0	0.00216	40.8	-0.00976	-40.8
2	0.00350	50.0	0.00217	40.8	-0.00967	-40.8

## ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe:	12	mm
Passo staffe:	20.0	cm
N.Bracci staffe:	2	
Area staffe/m :	11.3	cm <sup>2</sup> /m

## VERIFICHE A TAGLIO

VerS = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata

Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb.

Vrd Taglio resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]

Vcd Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]

Vwd Taglio trazione resistente [daN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]

bw|d Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Altezza utile sezione

Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato

Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione

Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	11461	0	215732	31648	83.9  80.7	1.000	1.016	4.1
2	S	23054	0	215977	31619	83.9  80.6	1.000	1.018	8.2

## COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

NV12B: PARATIA DI PALI MU22A - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 26	CL	MU 22 A 0 001	A	30 di 30

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm<sup>2</sup>)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm<sup>2</sup>)  
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	33.9	-50.0	0.0	50.0	-821	40.8	23.0	2695	34.6	---

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica  
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 K2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2 * e2)$  in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
 srm Distanza massima in mm tra le fessure  
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess. Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00048	0.00025		0.50	0.60	0.000246 (0.000246)	544	0.134 (0.20)	33489