

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)**

Opere di sostegno piazzali

PT93: Opere di protezione al soliflusso MU23

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3U 40 D 29 CL MU2300 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Feb-2020	M.Arcangeli	Feb-2020	A.Barreca	Feb-2020	F.Arduini
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Apr-2020	M.Arcangeli	Apr-2020	A.Barreca	Apr-2020	0

ITALFERR S.p.A.  
Direzione Tecnica  
Infrastrutture Centro  
Dott. Ing. Emilio Arduini  
Autore della relazione di calcolo  
29/04/2020

## 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
8.	ANALISI DEI CARICHI .....	12
8.1	CARICHI PERMANENTI .....	12
8.1.1	<i>Spinta del terreno</i> .....	12
8.2	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....	13
8.2.1	<i>Vita nominale</i> .....	13
8.2.2	<i>Classe d'uso</i> .....	13
8.2.3	<i>Periodo di riferimento</i> .....	13
8.2.4	<i>Parametri sismici</i> .....	13
9.	COMBINAZIONI DI CARICO .....	17
10.	PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA .....	19
10.1	DATI DI INPUT.....	19
10.2	FASI DI CALCOLO.....	21
10.3	RISULTATI DELLE ANALISI.....	22
10.4	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	25
10.4.1	<i>Verifiche SLE</i> .....	25



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)  
OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI

PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU 23 0 0 001	B	3 di 36

10.4.2	Verifica di stabilità globale .....	26
10.5	VERIFICHE STRUTTURALI .....	28
	• Verifica del cordolo.....	33
	• Incidenze .....	35

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI</b>					
PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 23 0 0 001	REV. B	FOGLIO 4 di 36

## 1. **PREMESSA**

Il presente documento riguarda il dimensionamento delle opere di protezione al soliflusso MU23 situate in corrispondenza del piazzale PT93 presente nell'ambito del Progetto Definitivo della Diretrice Ferroviaria Messina – Catania – Palermo - Nuovo Collegamento Palermo – Catania, Tratta Caltanissetta Xirbi – Enna (Lotto 4a).

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI</b>					
PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 23 0 0 001	REV. B	FOGLIO 5 di 36

## 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:

RS3U.4.0.D.29.PZ.MU.23.0.0.001: "PT93 Opere di protezione al soliflusso MU23 - Pianta, prospetto"

RS3U.4.0.D.29.GE.GE.00.0.0.001: "Relazione geotecnica generale"

RS3U.4.0.D.29.F6.GE.00.0.0.001 - RS3U.4.0.D.29.F6.GE.00.0.0.007: "Profilo geotecnico linea"

#### 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)	10 <sup>3</sup> N
<b>MN</b> (megaNewton)	10 <sup>6</sup> N
<b>kgf</b> (kilogrammo-forza)	1 kgf = 9.81 N
<b>cm</b> (centimetro)	10 <sup>-2</sup> m
<b>mm</b> (millimetro)	10 <sup>-3</sup> m
<b>Pa</b> (Pascal)	1 N/m <sup>2</sup>
<b>kPa</b> (kiloPascal)	10 <sup>3</sup> N/m <sup>2</sup>
MPa (megaPascal)	10 <sup>6</sup> 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>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI					
	PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 23 0 0 001	REV. B

$\varepsilon$  (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

## 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
$(f_v/f_{vnom})_k$	$< 1,35$	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:

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI					
	PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 23 0 0 001	REV. B

## 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 è posta cautelativamente a fondo scavo.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI					
	PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 23 0 0 001	REV. B

## 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):

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI					
PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 23 0 0 001	REV. B	FOGLIO 11 di 36

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.

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

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),  $K_{QE}$  e  $K_Q$  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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI					
PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 23 0 0 001	REV. B	FOGLIO 12 di 36

## 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>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI					
	PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 23 0 0 001	REV. B

## 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: 75 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  $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$  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.

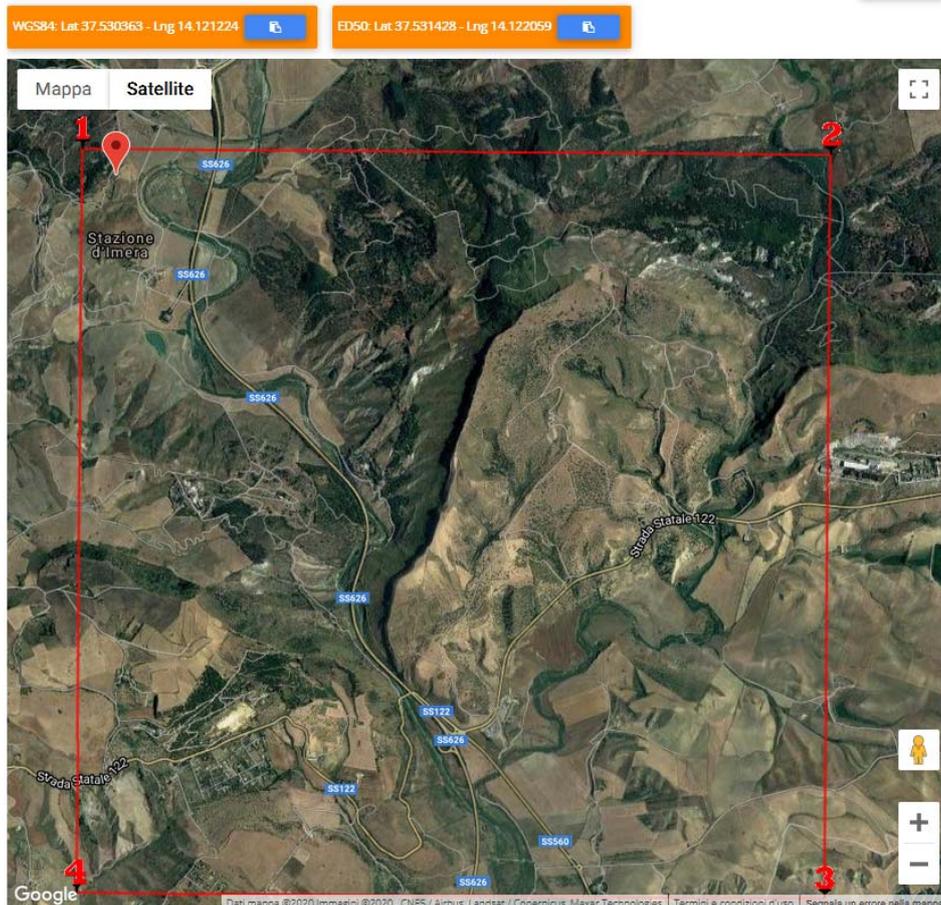


Figura 8-1 – Localizzazione del sito.

Da cui si ottiene la seguente tabella:

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a) OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI					
	PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 23 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

## Stati limite

 Classe Edificio  
 III. Affollamento significativo...

 Vita Nominale 75

 Interpolazione Media ponderata

**CU = 1.5**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	68	0.040	2.515	0.288
Danno (SLD)	113	0.049	2.500	0.325
Salvaguardia vita (SLV)	1068	0.099	2.639	0.511
Prevenzione collasso (SLC)	2193	0.122	2.750	0.546
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	112.5			

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 CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI</b>					
	PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU 23 0 0 001</b>	REV. <b>B</b>

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	1,58	1,52	1,31	1,28
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

## 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 (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, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

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

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

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

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

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

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

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	$\gamma_{Q1}$	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  $\gamma_G$

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

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

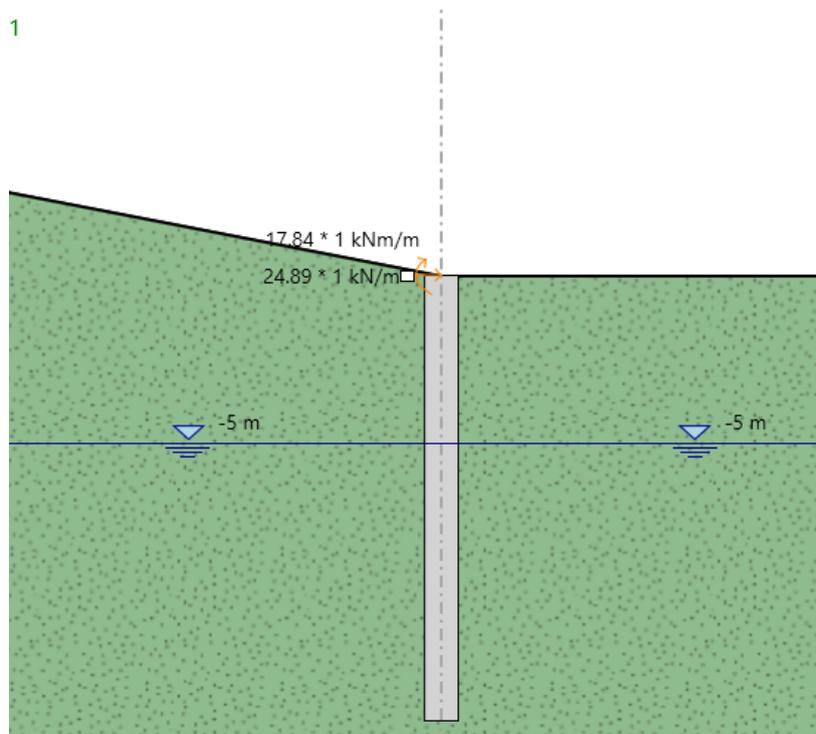
Tabella 9-3 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza SLU di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

Le combinazioni sismiche sono effettuate con ponendo però 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.

## 10. PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA



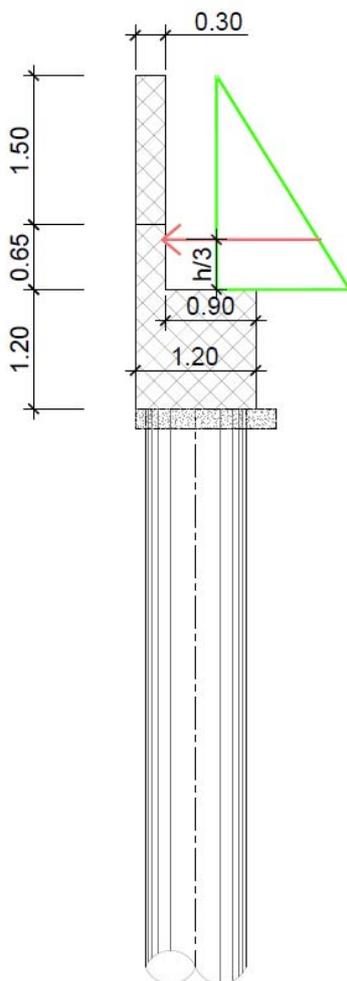
### 10.1 Dati di input

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

Tipologia struttura di sostegno	pali $\phi 1000$ ad interasse 1.20 m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 10.20\text{m}$ (1.20 m cordolo + 9.0 m palo)
Altezza di scavo (da estradosso cordolo)	$H = 4.5\text{m}$
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = 5.0\text{ m}$
Inclinazione del piano campagna a monte	$11.0^\circ$
Inclinazione del piano campagna a valle	$0.0^\circ$
Sovraccarichi permanenti a monte	$g = 0\text{ kPa}$
Sovraccarichi permanenti a valle	$g = 0\text{ kPa}$
Sovraccarichi accidentali a monte	$q = 0\text{ kPa}$
Sovraccarichi variabili a valle	$q = 0\text{ kPa}$

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

Si osservi che le sollecitazioni agenti in corrispondenza della testa del muro (derivanti dalla porzione di terreno scadente spingente) risultano essere:



$$K_a = \frac{1 - \sin(\Phi)}{1 + \sin(\Phi)} = 0.567$$

$$\text{Momento risultante} = (0.5) \cdot \gamma \cdot K_a \cdot H^2 \cdot \left(\frac{H}{3}\right)$$

$$= 0.5 \cdot 19 \cdot 0.567 \cdot (2.15)^2 \cdot \left(\frac{2.15}{3}\right) = 17.84 \text{ KNm}$$

$$\text{Taglio risultante} = (0.5) \cdot \gamma \cdot K_a \cdot H^2$$

$$= 0.5 \cdot 19 \cdot 0.567 \cdot (2.15)^2 = 24.89 \text{ KN}$$

## 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.

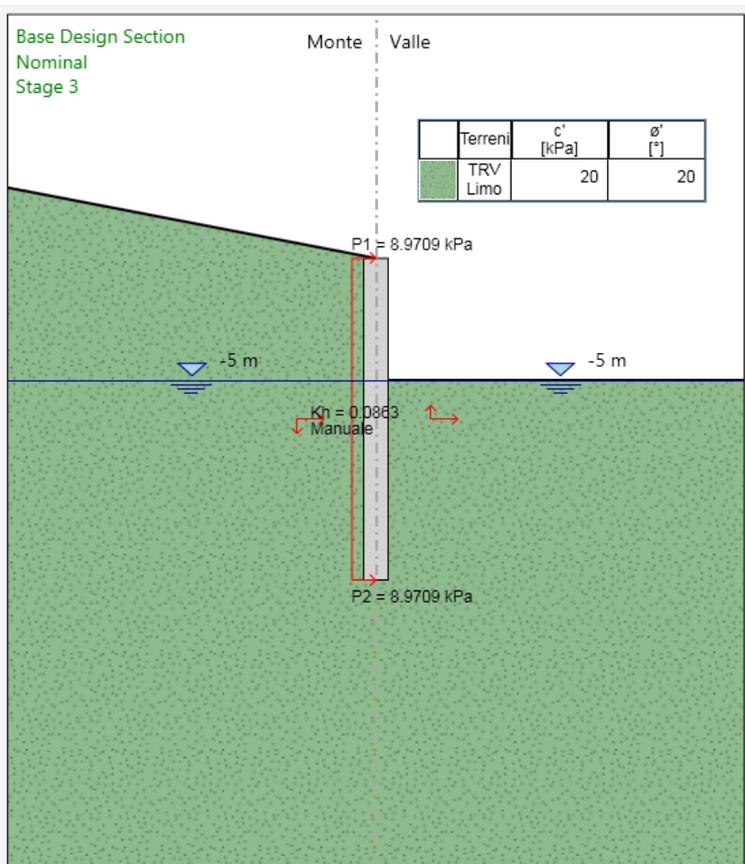


Figura 10-1 – Schema di calcolo paratia.

### 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	219.29	6.6	-	262.8	141.3	
SLU	285.07	6.6	77.91	342.08	141.3	93.49
SLV	486.19	7.8	143.82	583.42	145.23	172.58

Tabella 10-2 – Riepilogo sollecitazioni.

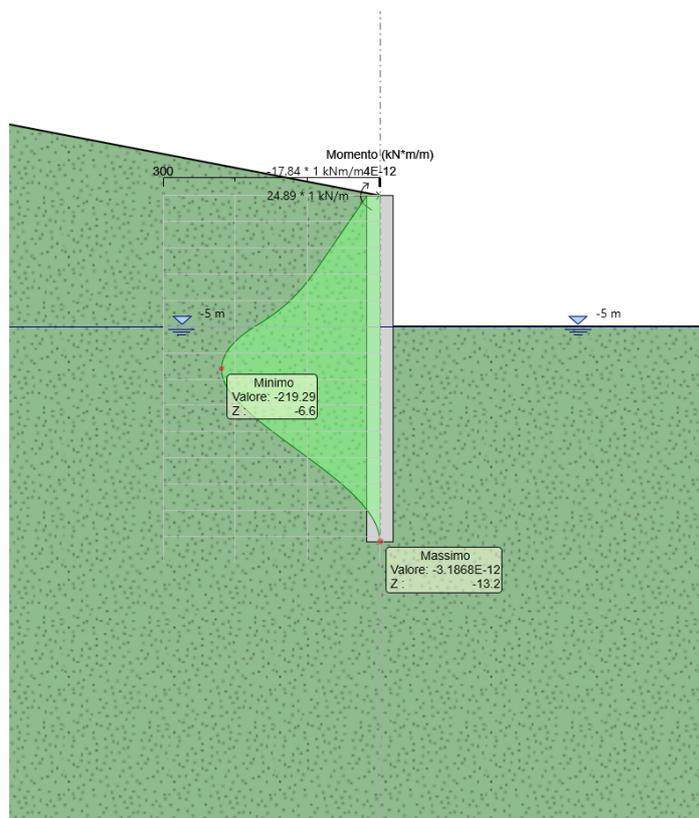


Figura 10-2 – Momento SLE.

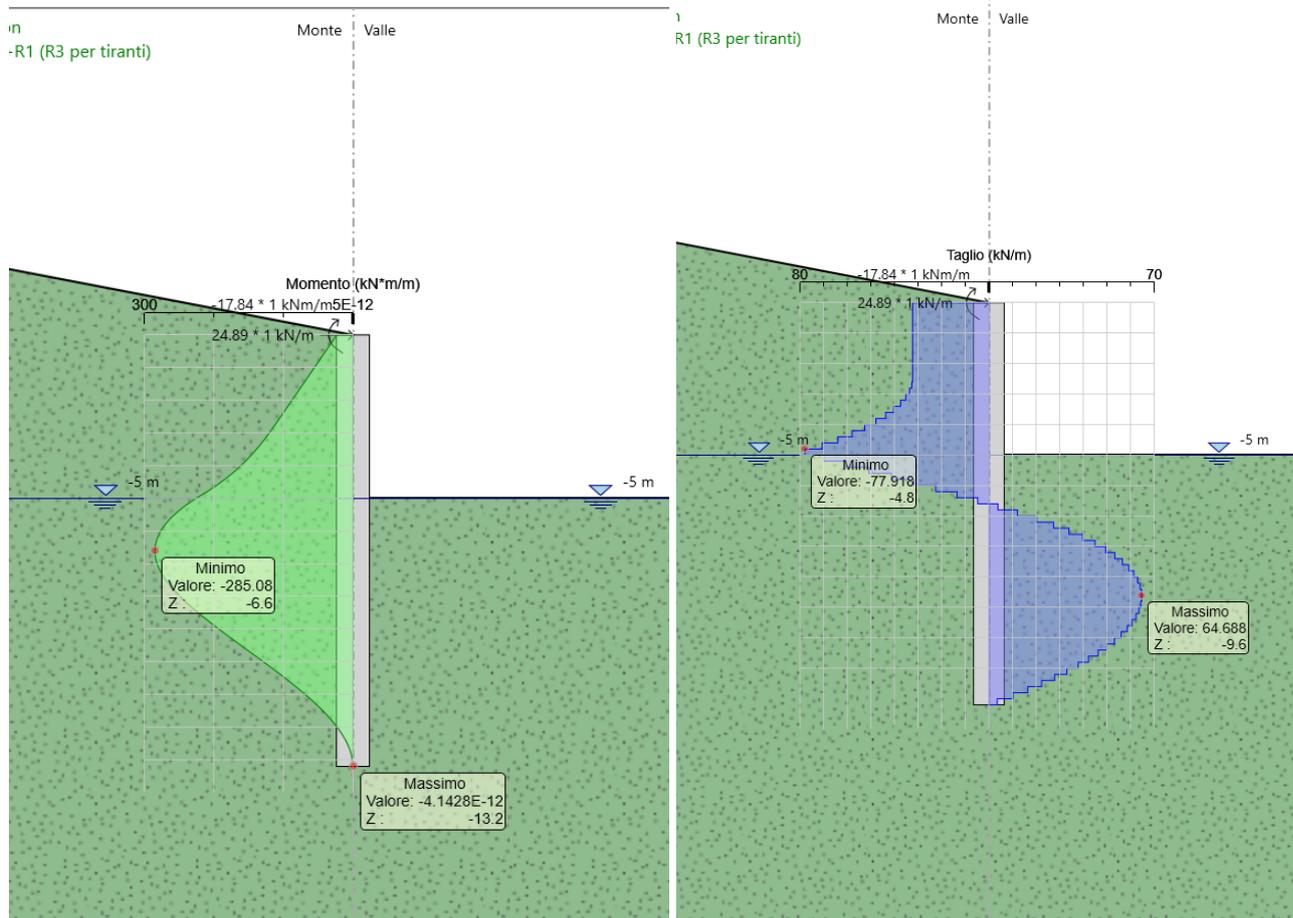


Figura 10-3 – Momento e taglio SLU.

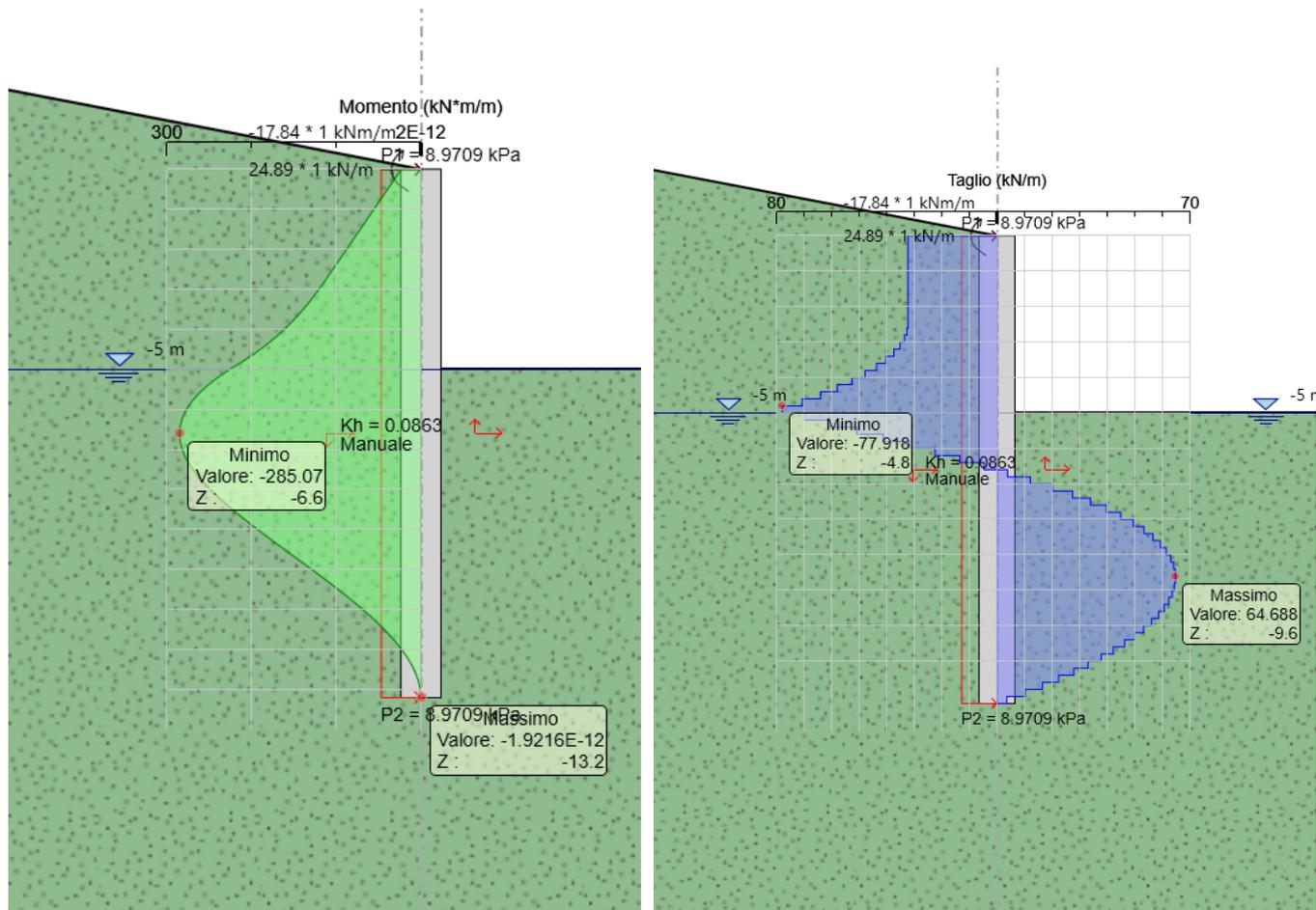
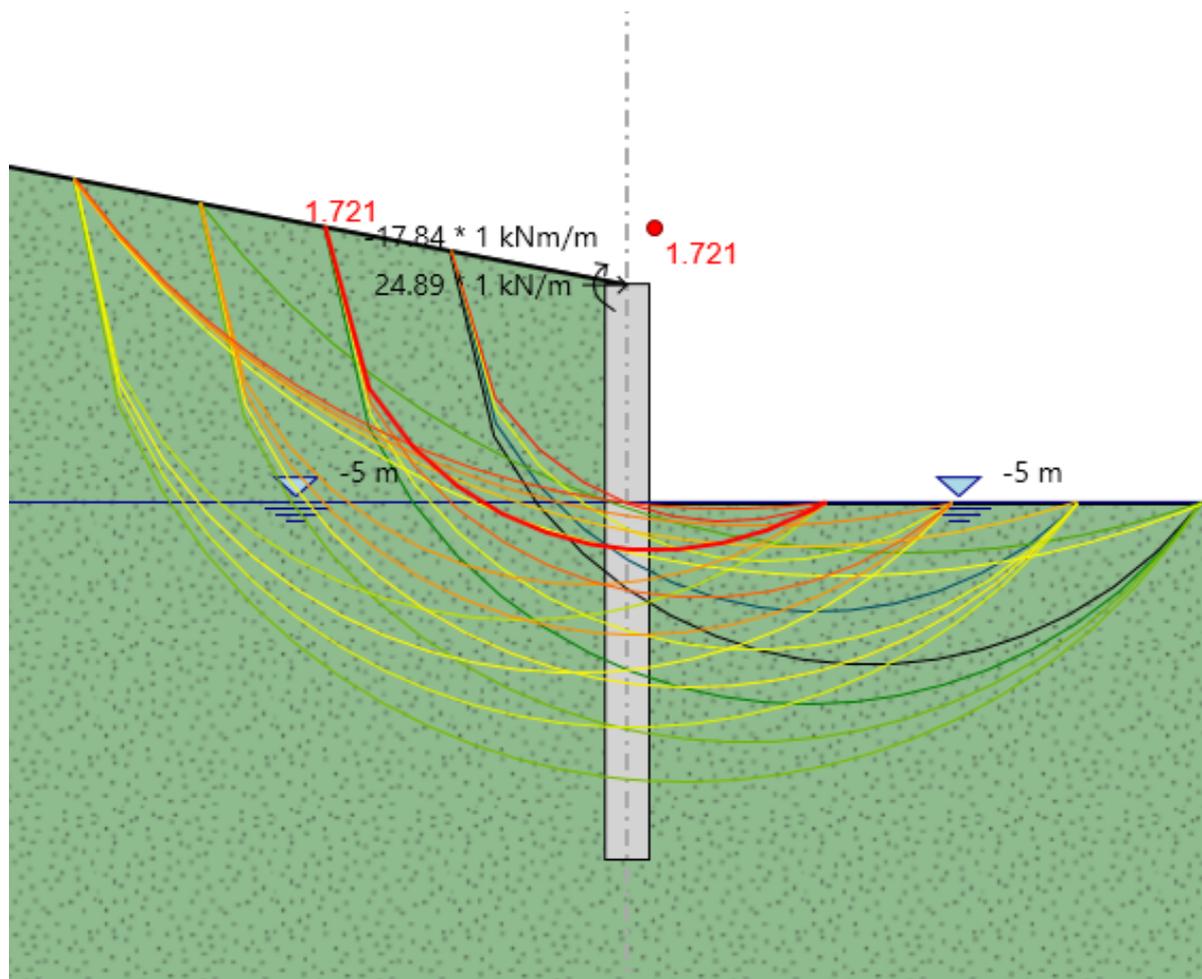


Figura 10-4 – Momento e taglio SLV.

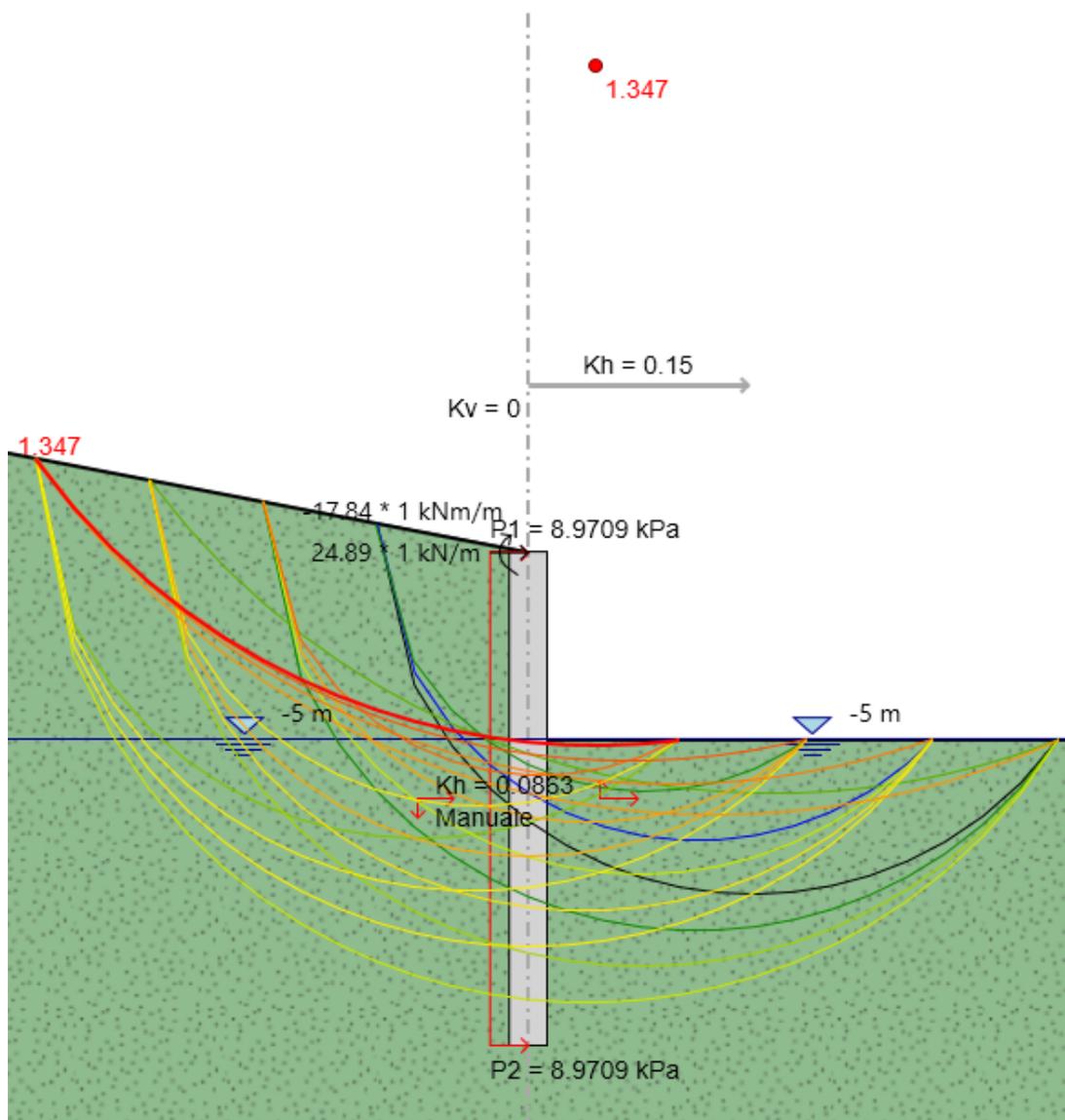


### 10.4.2 Verifica di stabilità globale

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



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





DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)  
 OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI

PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
 MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU 23 0 0 001	B	28 di 36

## 10.5 Verifiche strutturali

### DATI GENERALI

Descrizione Sezione:  
 Metodo di calcolo resistenza: Resistenze in campo sostanzialmente elastico  
 Tipologia sezione: Sezione generica di Pilastro  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Condizioni Ambientali: Moderat. 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	
	Resis. compr. di progetto fcd:	141.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80	daN/cm <sup>2</sup>
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	26.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	150.00	daN/cm <sup>2</sup>
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. rottura ftk:	5400.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3600.0	daN/cm <sup>2</sup>	

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare  
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 50.0 cm  
 X centro circ.: 0.0 cm  
 Y centro circ.: 0.0 cm

### DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre  
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate  
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate  
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate  
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza  
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	41.5	18	20



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
 TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)  
 OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI

PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
 MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU 23 0 0 001	B	29 di 36

#### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 16 mm  
 Passo staffe: 24.9 cm  
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

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

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
 Vy Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
 Vx Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	14130	28507	0	9349	0
2	14523	48619	0	17258	0

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

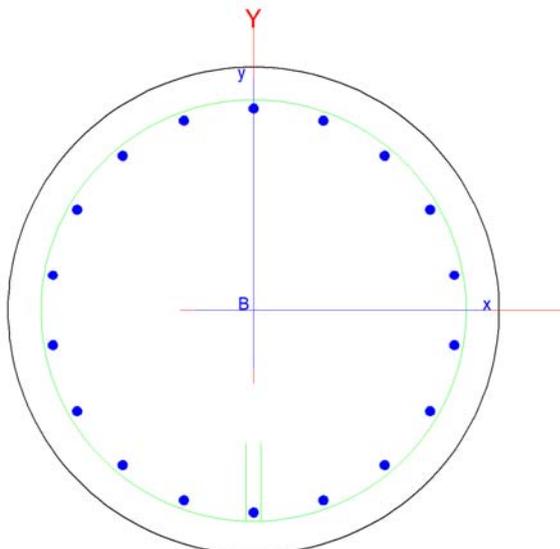
N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	14130	21929	0

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.5 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 12.4 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 5.9 cm



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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx Sn	Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm <sup>2</sup> ]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	14130	28507	0	14137	63495	0	2.23	56.5(23.6)
2	S	14523	48619	0	14518	63609	0	1.31	56.5(23.6)

#### METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
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)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
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 compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00091	0.0	50.0	0.00065	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5
2	0.00092	0.0	50.0	0.00065	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)  
OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI**

PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU 23 0 0 001	B	31 di 36

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000031377	-0.000654342	----	----
2	0.000000000	0.000031396	-0.000653576	----	----

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm<sup>2</sup>]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	39.6	0.0	0.0	-1146	0.0	-41.5	1349	15.7

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm  
 Esito della verifica  
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
 k2 = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
 k3 = 0.5 per flessione;  $-(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
 k4 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 Ø = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 Cf Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
 e sm - e cm Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
 Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
 Tra parentesi: valore minimo =  $0.6 \cdot S_{max} / E_s$  [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
 wk Apertura fessure in mm calcolata =  $sr \cdot max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]  
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00065	0	0.500	20.0	75	0.00034 (0.00034)	547	0.188 (0.20)	31996	0

### Verifica a taglio

VERIFICA A TAGLIO - SLU						
r	500	mm				
c	82	mm				
rs	418	mm				
$\alpha$	0.56	rad				
Atot	785398	mm <sup>2</sup>				
A	645647	mm <sup>2</sup>				
h	931.9	mm	Rck	30		
d	766.1	mm	fck	24.9		
bw	842.8	mm	$\gamma_c$	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.511			N.ro		area_ferro
k	1.511		As	10	$\phi$	20.0
Asl	3142	mm <sup>2</sup>				
Asl/(bw·d)	0.005					
$\rho_1$	0.005		Vrd	268.9	kN	
vmin	0.324		Ved	93.5	kN	
vmin·bw·d	209428	N	Vrd/Ved	2.88	-	
Vrd	268870	N				
Non necessita di armatura a taglio						

VERIFICA A TAGLIO - SLU						
r	500	mm				
c	82	mm				
rs	418	mm				
$\alpha$	0.56	rad				
Atot	785398	mm <sup>2</sup>				
A	645647	mm <sup>2</sup>				
h	931.9	mm	Rck	30		
d	766.1	mm	fck	24.9		
bw	842.8	mm	$\gamma_c$	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.511			N.ro		area_ferro
k	1.511		As	10	$\phi$	20.0
Asl	3142	mm <sup>2</sup>				
Asl/(bw·d)	0.005					
$\rho_1$	0.005		Vrd	268.9	kN	
vmin	0.324		Ved	173	kN	
vmin·bw·d	209428	N	Vrd/Ved	1.56	-	
Vrd	268870	N				
Non necessita di armatura a taglio						

• **Verifica del cordolo**

La verifica del cordolo è stata effettuata ipotizzando che un palo non sia efficace.

Il comportamento del cordolo è schematizzabile come quello di trave semplicemente appoggiata in corrispondenza di due pali posti ad interasse pari al doppio di quello di progetto. Si considera quindi un carico uniformemente distribuito sul cordolo che equilibra le massime azioni taglianti sui pali ricavate dal programma di calcolo.

Per il cordolo di dimensione 1.20x1.20m è stata prevista un'armatura costituita da 5 $\phi$ 20 lato terra e lato scavo.

AZIONE	LUCE DI CALCOLO	MOMENTO	TAGLIO
KN/m	m	KNm	KN
77.91	2.4	56.10	93.49

Le sollecitazioni agenti sono inferiori a quelle resistenti, come di seguito illustrate.

**DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.**

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave (solette, nervature solai) senza staffe
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	188.10 daN/cm <sup>2</sup>
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	336428 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	30.00 daN/cm <sup>2</sup>
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. 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 tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-60.0	0.0

PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU 23 0 0 001	B	34 di 36

2	-60.0	120.0
3	60.0	120.0
4	60.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-52.9	7.1	20
2	-52.9	112.9	20
3	52.9	112.9	20
4	52.9	7.1	20

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	20
2	1	4	3	20

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

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ. d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ. d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0	5610	0	9349	0

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.1 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 24.5 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sn Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)  
Mx Sn Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Sn Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [daN] baricentrico (positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My res Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
As Tesa Area armature trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)  
OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI**

PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU 23 0 0 001	B	35 di 36

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0	5610	0	0	69764	0	12.44	31.4(23.5)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
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)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
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 compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00335	0.047	-60.0	120.0	-0.00111	-52.9	112.9	-0.06750	-52.9	7.1

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000627512	-0.071955339	0.047	0.700

**METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm²]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	9349	46276	112.9	120.0	0.0023	0.0

• **Incidenze**

<b>58</b>	<b>kg/m</b>	<b>Incidenza per unità di lunghezza</b>
<b>74</b>	<b>kg/m3</b>	<b>Incidenza per unità di volume di palo</b>



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)  
OPERE DI SOSTEGNO PIAZZALI

PT93: OPERE DI PROTEZIONE AL SOLIFLUSSO  
MU23 - RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU 23 0 0 001	B	36 di 36