

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA**

**OPERE CIVILI**

**GALLERIE ARTIFICIALI**

GALLERIA ARTIFICIALE GA02

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3E 50 D 29 CL GA0200 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	R. Michelangeli	Dicembre 2019	M.Arcangeli	Dicembre 2019	F.Sparacino	Dicembre 2019	F. Arduini	Dicembre 2019
								ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dir. Ing. FABIO ARDUINI Ufficio Studi e Progettazione Via Salaria 1100 - Roma	

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3	MATERIALI.....	6
3.1	CALCESTRUZZO PALI.....	6
3.1	CALCESTRUZZO SOLETTE E CORDOLO .....	7
3.2	ACCIAIO B450C .....	7
3.3	VERIFICA S.L.E. ....	8
3.3.1	<i>Stato limite di limitazione delle tensioni</i> .....	8
3.3.2	<i>Stato limite di fessurazione</i> .....	8
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	10
4.1	TERRENO DI RICOPRIMENTO/RINTERRO .....	10
4.1	TERRENO DI FONDAZIONE .....	10
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	12
5.1	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO .....	12
5.2	PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA .....	12
6	CRITERI DI PROGETTO .....	15
6.1	PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA .....	15
6.2	MODELLI DI CALCOLO .....	15
6.1	GALLERIA.....	15
7	ANALISI DEI CARICHI.....	21

7.1	PESO PROPRIO .....	21
7.2	SPINTA STATICA DELLE TERRE.....	21
7.3	SPINTA STATICA DELL'ACQUA.....	23
7.4	SPINTA DA SOVRACCARICO ACCIDENTALE .....	23
7.5	SOVRASPINTA SISMICA DEL TERRENO.....	23
7.6	FORZE D'INERZIA PER SISMA ORIZZONTALE .....	24
7.7	SOVRASPINTA DELL'ACQUA .....	24
7.8	COMBINAZIONI DI CARICO.....	24
8	RISULTATI.....	27
8.1	PARETI .....	27
8.2	VERIFICHE STRUTTURALI SOLETTONE DI COPERTURA .....	33
8.1	VERIFICHE STRUTTURALI RIVESTIMENTO .....	38

## 1 PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo lungo la direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo del nuovo collegamento Palermo-Catania.

Le Analisi e Verifiche nel seguito esposte fanno in particolare riferimento alla sezione tipologica della Galleria artificiale, tra le pk 4+494 e 4+709.

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 14 gennaio 2008.

La galleria artificiale in esame presenta uno sviluppo longitudinale di circa 215 m ed è costituita pali  $\Phi$  1500 laterali in c.a. di 30 m posti ad interasse di 1,6 m che vengono realizzati a seguito di un prescavo a  $33^\circ$  di circa 4-5m da P.C La modalità esecutiva prevede, in seguito la realizzazione del solettone di copertura, uno scavo intermedio con inserimento di puntone provvisorio a sostegno delle paratie, e successivamente di uno scavo a foro cieco fino alla profondità di imposta del solettone di fondo scavo. Infine si procede con i lavori di sistemazione del terreno a ricoprimento della galleria e la realizzazione delle fodere di rivestimento interne ai pali.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento della struttura è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza richiesti all'opera.

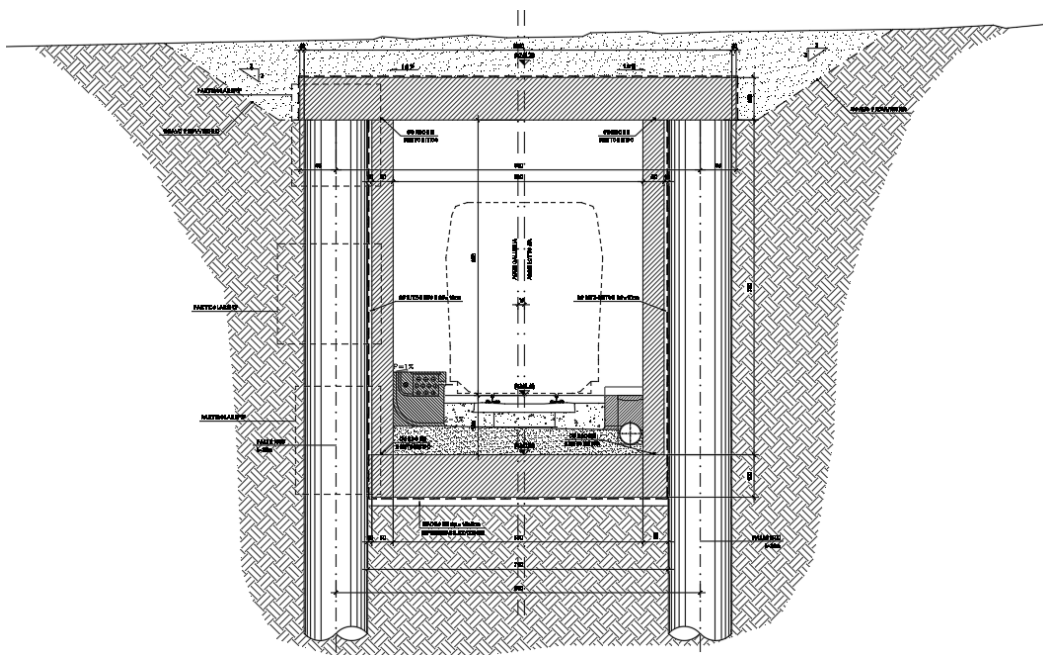


Fig. 1 – Sezione trasversale dell'opera

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Norme Tecniche per le Costruzioni, DM del 14/01/2008;
- Legge 05/01/1971 n°1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;
- Legge 02/02/1974 n°64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- C.M. 02/02/2009 n.617: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 A del 30/12/2016: Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture;
- RFI DTC SI PS SP IFS 001 A del 30/12/2016: Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio;
- UNI EN 1991-1-4:2005: Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;
- UNI EN 1992-1-1:2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1992-2:2006: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti;
- UNI EN 1993-1-1:2005: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1993-2:2007: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti;
- UNI EN 1998-1:2005: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
- UNI EN 1998-2:2006: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti;
- STI 2014 –Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

### 3 MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzo pali

Valore caratteristico della resistenza a compressione cubica a 28 gg:

$$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

Valore caratteristico della resistenza a compressione cilindrica a 28 gg:

$$f_{ck} = 24.9 \text{ MPa} \quad (0,83 \cdot R_{ck})$$

Resistenza a compressione cilindrica media:

$$f_{cm} = 32.9 \text{ MPa} \quad (f_{ck} + 8)$$

Resistenza a trazione assiale:

$$f_{ctm} = 2.56 \text{ MPa} \quad \text{Valore medio}$$

$$f_{ctk,0,05} = 1.79 \text{ MPa} \quad \text{Valore caratteristico frattile 5\%}$$

Resistenza a trazione per flessione:

$$f_{ctm} = 3.1 \text{ MPa} \quad \text{Valore medio}$$

$$f_{ctk,0,05} = 2.1 \text{ MPa} \quad \text{Valore caratteristico frattile 5\%}$$

Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:

$$\gamma_c = 1.5$$

Per situazioni di carico eccezionali, tale valore va considerato pari ad 1,0

Resistenza di calcolo a compressione allo SLU:

$$f_{cd} = 14.1 \text{ MPa} \quad (0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_s)$$

Resistenza di calcolo a trazione diretta allo SLU:

$$f_{ctd} = 1.19 \text{ MPa} \quad (f_{ctk,0,05} / \gamma_s)$$

Resistenza di calcolo a trazione per flessione SLU:

$$f_{ctd} = 1.43 \text{ MPa} \quad 1,2 \cdot f_{ctd}$$

Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valore va ridotto del 20%

Modulo di elasticità normale :

$$E_{cm} = 31447 \text{ MPa}$$

Modulo di elasticità tangenziale:

$$G_{cm} = 13103 \text{ MPa}$$

Modulo di Poisson:

$$\nu = 0.2$$

□

Coefficiente di dilatazione lineare

$$\alpha = 0.00001 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Tensione di aderenza di calcolo acciaio-calcestruzzo

$$\eta = 1.00$$

$$f_{bd} = 2.69 \text{ MPa} \quad (2,25 \cdot f_{ctk} \cdot \eta / \gamma_s)$$

Nel caso di armature molto addensate, o ancoraggi in zona tesa tale valore va diviso per 1,5

Tensioni massime per la verifica agli SLE (Prescrizioni Manuale RFI Parte 2-Sezione 2)

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 29 CL	GA02 00 001	A	7 di 42

$\sigma_{\text{max QP}} = (0,40 f_{ck}) = \boxed{9.96}$  MPa (Combinazione di Carico Quasi Permanente)

$\sigma_{\text{max R}} = (0,55 f_{ck}) = \boxed{13.70}$  MPa (Combinazione di Carico Caratteristica - Rara)

*Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valori vanno ridotti del 20%*

Copriferro: 60mm

### 3.1 Calcestruzzo solette e cordolo

**Classe di resistenza: Elevazione**

**C30/37**

Resistenza a compressione cubica caratteristica	$R_{ck} =$	37	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	$f_{ck} =$	30.71	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} =$	38.71	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} =$	2.94	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} =$	3.53	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico secante medio	$E_{cm} =$	33019	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} =$	2.06	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} =$	3.82	N/mm <sup>2</sup>
<i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i>	$\gamma_c =$	1.5	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU:	$f_{cd} =$	17.4	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU:	$f_{ctd} =$	1.37	N/mm <sup>2</sup>
<i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i>	$\gamma_c =$	1.0	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE:	$f_{cd} =$	30.7	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE:	$f_{ctd} =$	2.06	N/mm <sup>2</sup>
Massime tensioni di compressione in esercizio:			
Combinazione rara	$\sigma_{c,ad} =$	18.43	N/mm <sup>2</sup>
Combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,ad} =$	13.82	N/mm <sup>2</sup>

Classe di esposizione: XC3

Copriferro: 40mm

### 3.2 Acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 450$  MPa;

Tensione di progetto:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m$

in cui  $\gamma_m = 1.15$   $f_{yd} = 450 / 1.15 = 391.3$  MPa;

Modulo Elastico

$$E_s = 210'000 \text{ MPa.}$$

### 3.3 Verifica S.L.E.

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 attesa, secondo quanto di seguito specificato

#### 3.3.1 Stato limite di limitazione delle 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 a trazione" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento "Specifiche per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario RFI DTC INC PO SP IFS 001 A ", ovvero:

#### 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  $0,75 f_{yk}$ .

#### 3.3.2 Stato limite di fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

**Tabella 1 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e Condizioni Ambientali**



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

Risultando:

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

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Data la maggior restrittività, alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dal “Manuale di Progettazione delle Opere Civili” secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, qual è il caso delle strutture in esame così come identificate nel DM 14.1.2008, 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 riportata al C4.1.2.2.4.5 della Circolare.

## 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Si rimanda alla relazione geotecnica per la trattazione completa dei parametri geotecnici.

### 4.1 Terreno di ricoprimento/rinterro

Per il terreno di ricoprimento dell'opera sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche :

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

### 4.1 Terreno di fondazione

Per il terreno esistente sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche :

#### Da 0 a -5.0 formazione BA

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 70 \div 120 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 75 \div 250 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$E'_{op} = E_o/5 = 22 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo per analisi opere di sostegno e fondazioni dirette

#### oltre 5.0 formazione Terravecchia:

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 26^\circ \text{ } z < 12 \text{ m}$	angolo di resistenza al taglio
$\varphi' = 30^\circ \text{ } z < 30 \text{ m}$	angolo di resistenza al taglio
$\varphi' = 30^\circ \text{ } z > 30 \text{ m}$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 220 \text{ kPa } z < 30 \text{ m}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate

$c_u = 300 \text{ kPa}$   $z > 30 \text{ m}$

$E_o = 175 \text{ MPa}$   $z < 30 \text{ m}$

$E_o = 400 \text{ MPa}$   $z < 30 \text{ m}$

$E_o = 600 \text{ MPa}$   $z > 30 \text{ m}$

$E' = E_o/5 \text{ MPa}$

opere di sostegno

$E' = 35 \text{ MPa}$  sino a 12.0m

$E' = 80 \text{ MPa}$  sino a 30.0m

$E' = 120 \text{ MPa}$  oltre i 30.0m

resistenza al taglio in condizioni non drenate

modulo di deformazione elastico iniziale

modulo di deformazione elastico iniziale

modulo di deformazione elastico iniziale

modulo di deformazione elastico operativo per calcolo cedimenti fondazione e

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 14 gennaio 2008 e relativa circolare applicativa.

### 5.1 Vita nominale e classe d'uso

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale ( $V_N$ ), 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, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso ( $C_U$ )

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale:  $V_N = 75$  anni (categoria 2: "Altre opere nuove a velocità  $V < 250$  Km/h"). Riguardo invece la Classe d'Uso, all'opera in oggetto corrisponde una Classe III a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II):  $C_U = 1.5$ .

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutati in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$  anni

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

### 5.2 Parametri di pericolosità sismica

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 14-01-2008, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica /  $V_R$ ) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

- Categoria sottosuolo **C**

In accordo a quanto riportato in Allegato A delle Norme Tecniche per le costruzioni DM 14.01.08, si ottiene per il sito in esame:

La pericolosità sismica di base è stata definita sulla base delle coordinate geografiche del sito di realizzazione dell'opera:

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate  
 LONGITUDINE: 14.51949    LATITUDINE: 37.54259

Ricerca per comune  
 REGIONE: Sicilia    PROVINCIA: Catania    COMUNE: Randazzo

Elaborazioni grafiche:  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni:  
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Controllo sul reticolo:  
 Sito esterno al reticolo  
 Interpolazione su 3 nodi  
 Interpolazione corretta

Interpolazione:  
 media ponderata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, a "Ricerca per coordinate".

INTRO    **FASE 1**    FASE 2    FASE 3

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$ : 75 info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$ : 1.5 info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$ : 112.5 info

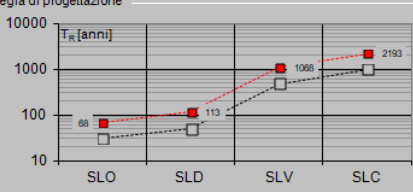
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE: { SLO -  $P_{VR} = 81\%$ : 68  
 SLD -  $P_{VR} = 63\%$ : 113

Stati limite ultimi - SLU: { SLV -  $P_{VR} = 10\%$ : 1068  
 SLC -  $P_{VR} = 5\%$ : 2193

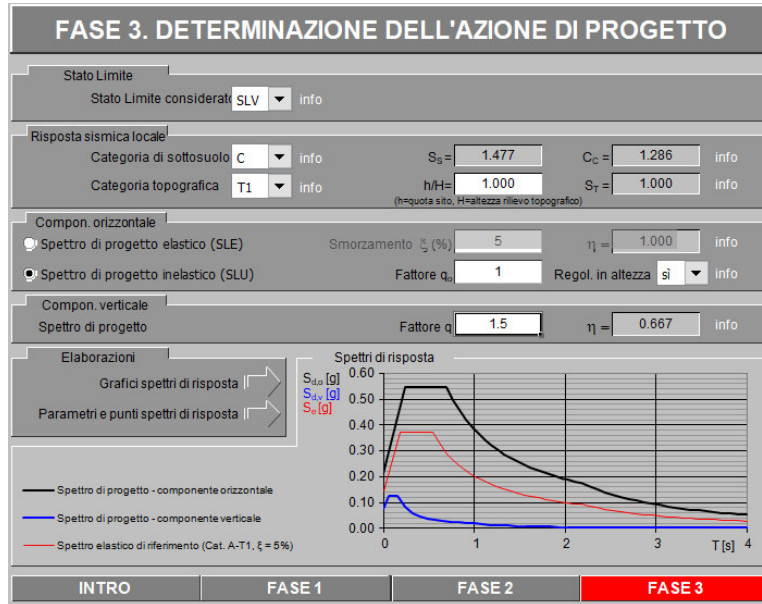
Elaborazioni:  
 Grafici parametri azione  
 Grafici spettri di risposta  
 Tabella parametrizzazione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO  
 ---□--- Strategia per costruzioni ordinarie  
 - - - ■ - - - Strategia scelta

INTRO    FASE 1    **FASE 2**    FASE 3



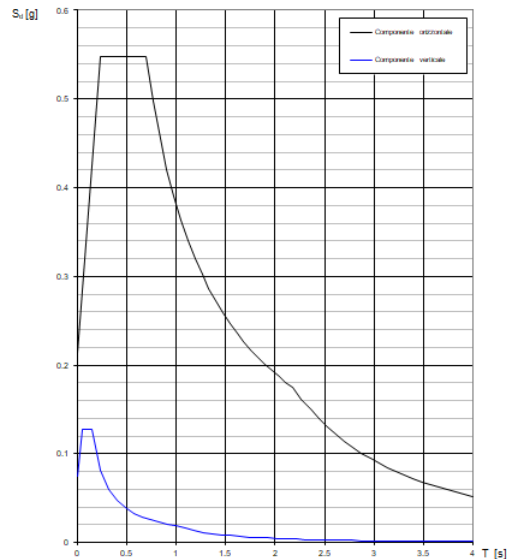
Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato lim SLV

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_n$	0.145 g
$F_n$	2.564
$T_c^*$	0.541 s
$S_S$	1.477
$C_C$	1.286
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.477
$\eta$	1.000
$T_B$	0.232 s
$T_C$	0.696 s
$T_D$	2.179 s



## 6 CRITERI DI PROGETTO

### 6.1 Programmi per l'analisi automatica

Lo stato tenso-deformativo della paratia è stato investigato mediante il software di calcolo *PARATIEPLUS*.

### 6.2 Modelli di calcolo

Lo stato tenso-deformativo dei pali è stato investigato mediante il software di calcolo *PARATIE PLUS*, programma non lineare agli elementi finiti per l'analisi di strutture di sostegno flessibili.

Si è considerato un comportamento piano nelle deformazioni, analizzando una striscia di parete di larghezza unitaria. La realizzazione dello scavo sostenuto da paratie è seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una quota di scavo, da un insieme di puntone e tiranti applicati e da una ben precisa disposizione di carichi applicati.

### 6.1 Galleria

La galleria è costituita da due paratie di pali  $L=30\text{m}$   $D1500$  ad interesse  $1.6\text{m}$ , collegati in testa da una soletta in c.a. di spessore  $1.0\text{m}$ . La soletta viene considerata nel modello collegata alle due pareti tramite vincolo di incastro interno. Il solettone di base, anch'esso di spessore  $1.0\text{m}$ , viene invece svincolato a Taglio e Momento. Si incrementa l'altezza di scavo del 10% secondo quanto riportato al cap.6.5.2.2 delle NTC ( $13.7\text{m} \cdot 1.1 = 15.15\text{m}$ ).

Nella modellazione è implementata la seguente successione di step:

Step 0. Inizializzazione geostatica.

Step 1. Esecuzione pali  $\varphi=1500$  mm.

Step 2. Esecuzione scavo fino ad intradosso solettone di copertura.

Step 3. Realizzazione solettone di copertura.

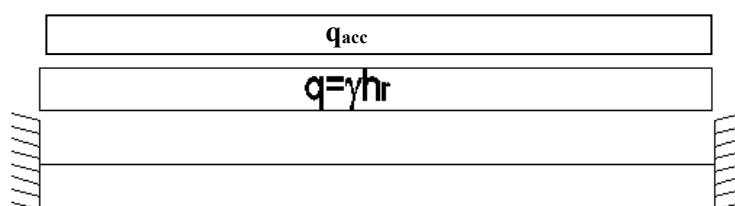
Step 4. Esecuzione scavo intermedio.

Step 5. Inserimento puntone provvisorio.

Step 6. Esecuzione scavo a foro cieco fino ad intradosso solettone di base.

Step 7. Realizzazione solettone di base e pareti di rivestimento.

Step 8. Sistemazione finale, con rimozione del puntone provvisorio. In tale fase, per esigenze legate al tipo di software utilizzato, il carico agente sul solettone superiore è stato modellato come azioni concentrate agenti in testa ai pali secondo lo schema seguente:



Dove:

$h_r$  = Altezza terreno di ricoprimento effettiva.

Per cui le reazioni vincolari applicate in testa ai pali sono pari a:

$$q = 77 \text{ kN/m (peso terreno ricoprimento solettone 3.85m)}$$

$$q_{acc} = 20 \text{ kN/m (carico accidentale da traffico veicolare)}$$

$$N = 331 \text{ kN (sforzo normale testa palo } q \cdot l/2)$$

$$M_a = 474 \text{ kNm (Momento semi-incastro solettone } q \cdot l^2/12)$$

$$N_{acc} = 86 \text{ kN (sforzo normale testa palo } q_{acc} \cdot l/2)$$

$$M_{acc} = 124 \text{ kNm (Momento semi-incastro solettone } q_{acc} \cdot l^2/12)$$

Step 9. Attivazione sisma ( $k_h=0.214$ ;  $k_v=0.107$ ).

L'azione sismica viene valutata secondo:



### 7.11.6.3.1 Metodi pseudostatici

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo.

Le componenti orizzontale e verticale  $a_h$  e  $a_v$  dell'accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici,  $a_h$  può essere legata all'accelerazione di picco  $a_{max}$  attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max} \quad (7.11.9)$$

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale,  $\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e  $\beta \leq 1$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Per le paratie si può porre  $a_v = 0$ .

In favore di sicurezza si adotta  $\beta = 1$  ( $U_s = 0$ )

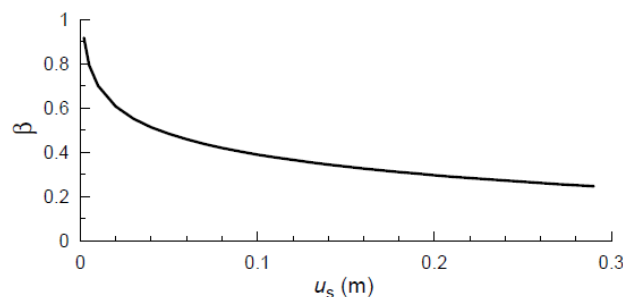


Figura 7.11.3 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$ .

Il fattore  $\alpha$  per suolo tipo C e 30m di lunghezza paratia risulta pari ad 0.52:

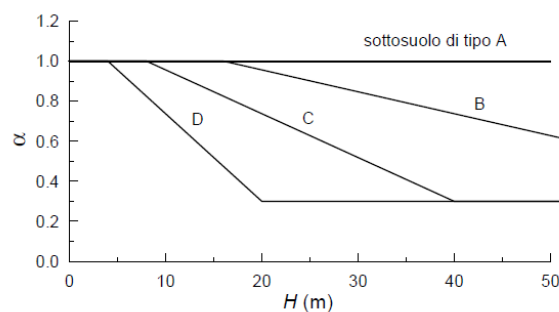
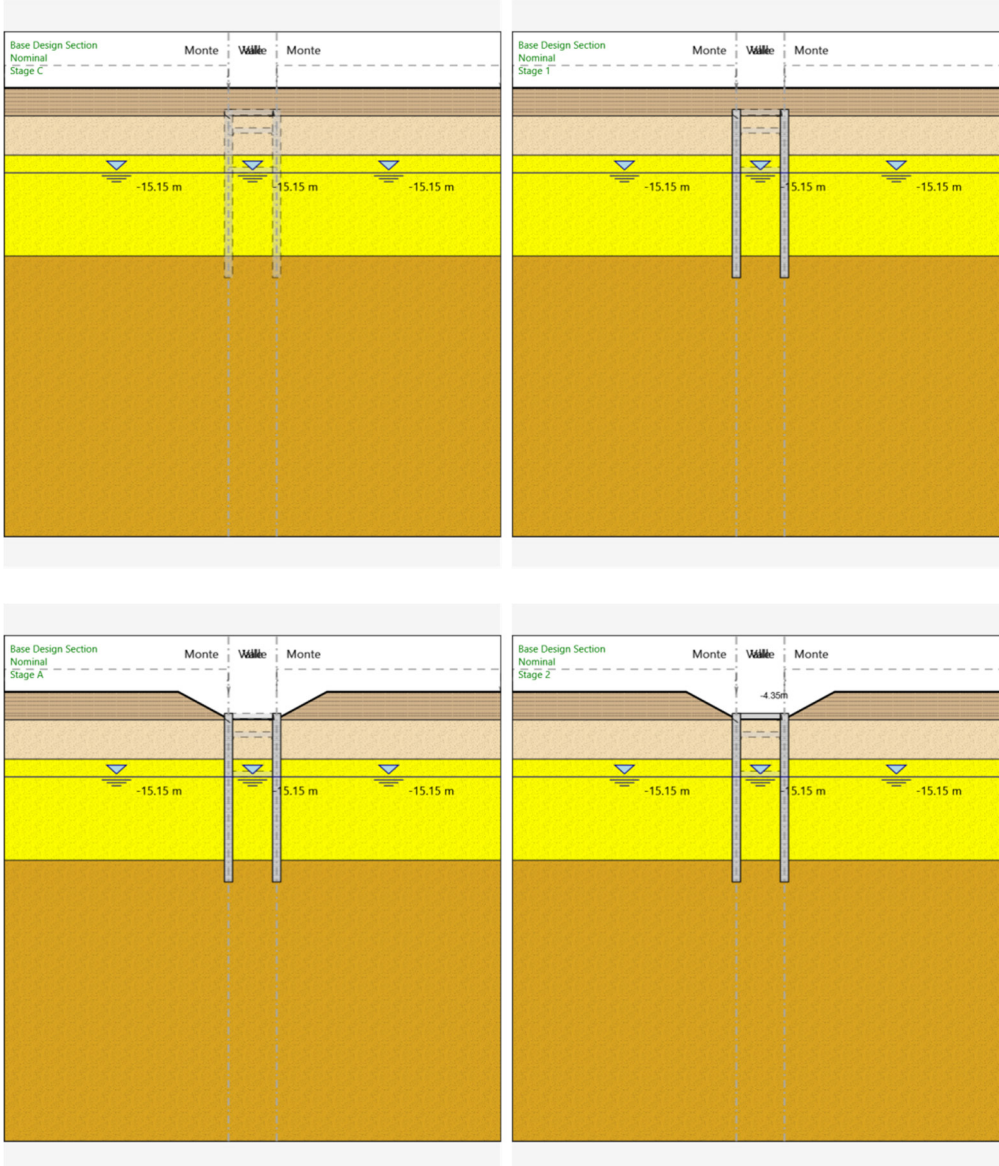
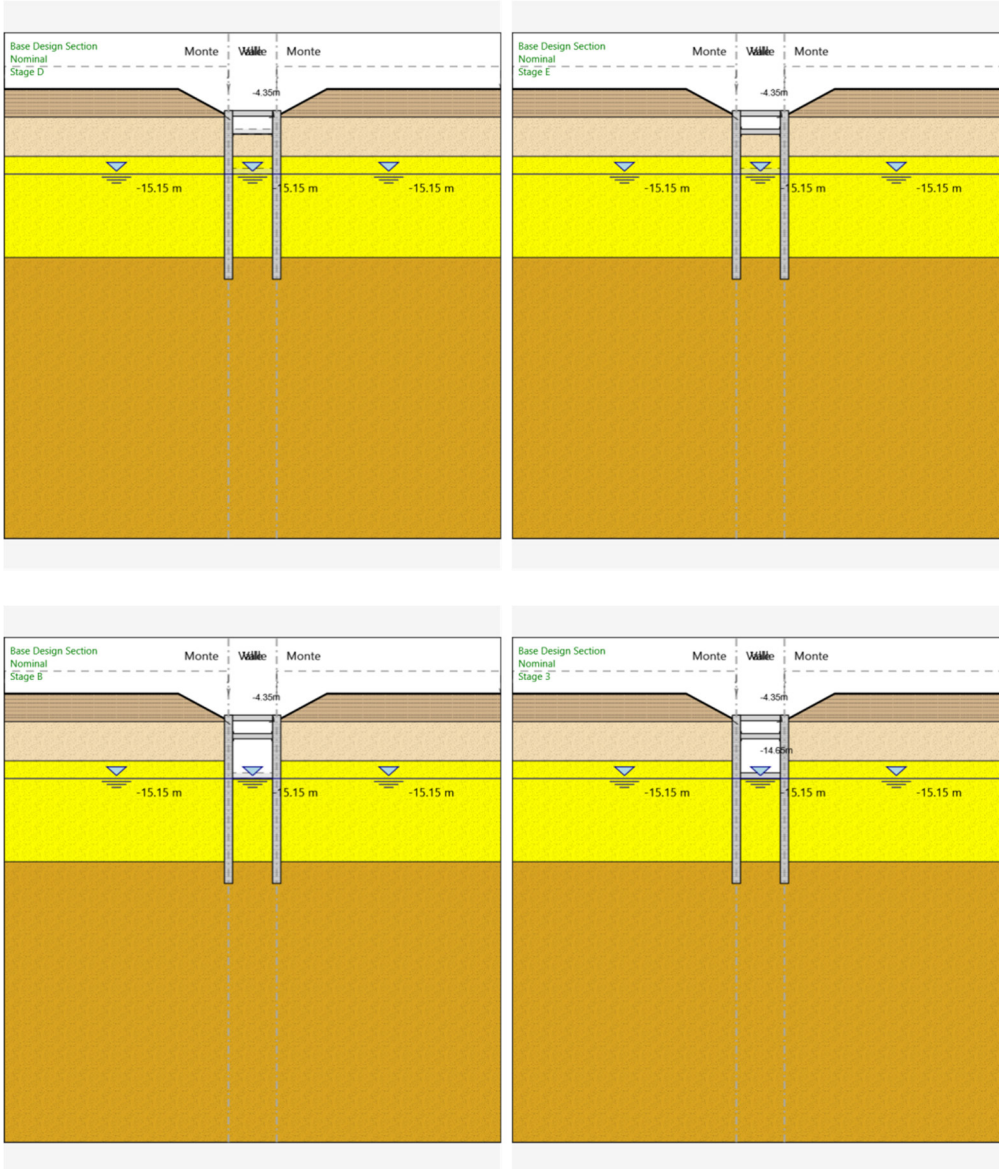


Figura 7.11.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$ .

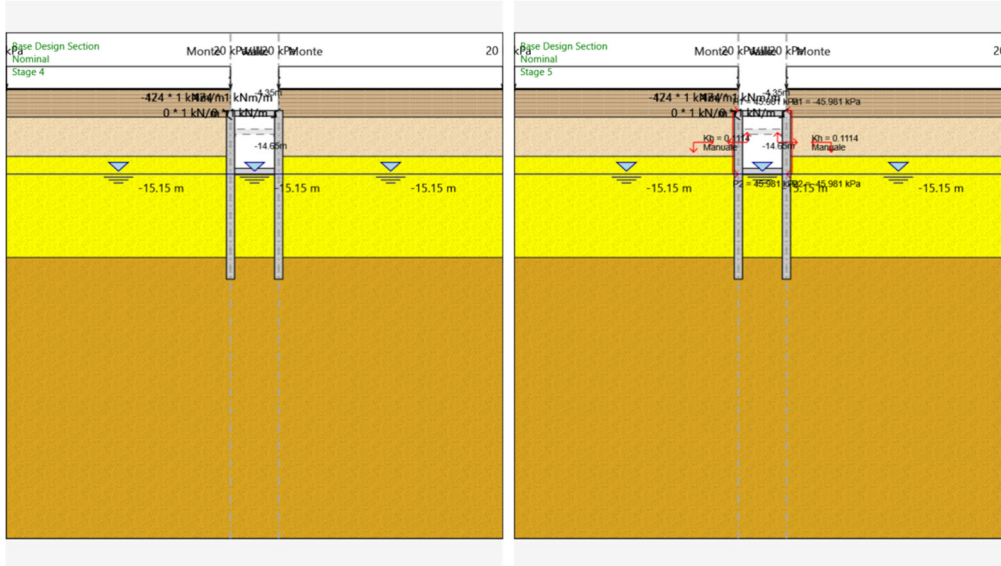
Di seguito si riportano le immagini relative alle fasi di calcolo:





RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 29 CL	GA02 00 001	A	20 di 42



## 7 ANALISI DEI CARICHI

### 7.1 Peso Proprio

Il peso proprio della struttura è calcolato in base alla geometria degli elementi strutturali e al peso specifico assunto per i materiali:

$$\gamma_{cls}=25.0 \quad \text{kN/m}^3$$

### 7.2 Spinta statica delle terre

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo PARATIE, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra 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  $K_p$ .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace  $\sigma'_h$  a quella verticale  $\sigma'_v$  attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

$K_0$  dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace  $\phi'$  e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} \cdot (\text{OCR})^m$$

dove

$$K_0^{NC} = 1 - \text{sen } \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ( $\text{OCR}=1$ ).  $\text{OCR}$  è il grado di sovraconsolidazione e  $m$  è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

I coefficienti di spinta attiva e passiva sono forniti dalla teoria di Rankine per una parete liscia dalle seguenti espressioni:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

Per tener conto dell'angolo di attrito  $\delta$  tra paratia e terreno il software PARATIE impiega per  $K_a$  e  $K_p$  la formulazione rispettivamente di Coulomb e Lancellotta.

*Formulazione di Coulomb per  $k_a$*

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

dove:

$\phi'$  è l'angolo di attrito del terreno

$\beta$  è l'angolo d'inclinazione del diaframma rispetto alla verticale

$\delta$  è l'angolo di attrito paratia-terreno

$i$  è l'angolo d'inclinazione del terreno a monte della paratia rispetto all'orizzontale

Il valore limite della tensione orizzontale sarà pari a

$$\sigma'_h = K_a \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_a}$$

$$\sigma'_h = K_p \cdot \sigma'_v + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_p}$$

a seconda che il collasso avvenga in spinta attiva o passiva rispettivamente.  $c'$  è la coesione drenata del terreno.

*Formulazione di Lancellotta per  $k_p$*

$$K_p = \left[ \frac{\cos \delta}{1 - \sin \Phi'} (\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \Phi' - \sin^2 \delta}) \right] e^{2\theta \tan \Phi'}$$

dove:



$$2\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\sin \delta}{\sin \Phi'}\right) + \delta$$

### 7.3 Spinta statica dell'acqua

La spinta dell'acqua è proporzionale alla profondità a partire dalla quota di falda. La falda è posta a -10.0m da p.c.; 2.0m sotto la soletta superiore. Nel modello di calcolo verrà posta sotto il solettone inferiore, nell'ipotesi che la spinta sia assorbita dal rivestimento interno.

La falda viene poi utilizzata per la verifica del rivestimento.

### 7.4 Spinta da sovraccarico accidentale

Il sovraccarico accidentale di superficie è assunto pari a 20 kPa, riprodotto il traffico stradale attivo sull'eventuale carreggiata presente a tergo delle opere.

### 7.5 Sovrappinta sismica del terreno

Per la determinazione dell'incremento di spinta sismica si utilizza la seguente espressione (Wood J.H., 1973):

$$\Delta P_d = \gamma \cdot k_n \cdot H^2$$

dove  $\gamma$  è la media pesata del peso di volume del terreno da p.c. a fondo scavo e H è il dislivello tra la quota del piano campagna e la quota di fondo scavo.

Tale forza viene applicata ad 1/2 dell'altezza libera della paratia:

Opzioni Sisma (attive solo nell'ultima fase)

Opzioni

Includi Azione Sismica

1. Definizione accelerazione

Coefficiente accel. base  $a_g / g$

Fattore importanza I

Coefficiente  $S_s$

Coefficiente  $S_T$

$a_{max} / g =$

2. Accelerazione di calcolo

Eurocodice

Calcolo coefficiente di risposta R

Input diretto

Da formule

$U_s$   m  $T_c$   m/s

$V_{max}$   m/s  $V_{max}/a_{max}$   >

R=  >

NTC

$U_s =$   m

$\beta =$   >

$\alpha =$   >

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

3. Definizione calcolo

Modalità spinta  Paratia fuori terra  
 Paratia intera

Comportamento idraulico  Terreno pervio  
 Terreno impervio

$k_{ru}$  (% kn)

$k_{rd}$  (% kn)

$R_u$

Includi inerzia paratia

4. Metodo di calcolo

Procedura Automatica (Paratie)

Pressione di Wood [0-1]

Valore Applicato

Manuale (Carichi Esterni)

Comportamento Paratia  Flessibile (usa  $k_h$ )  
 Rigido (usa  $a_{max}$ )

Metodo  Wood  
 Mononobe-Okabe  
 Semirigido

B=

$\alpha_1 =$

$\alpha_2 =$

Correlazione  $\alpha_1 - \alpha_2$

## 7.6 Forze d'inerzia per sisma orizzontale

L'azione inerziale è stata introdotta come accelerazione nella direzione del sisma di intensità pari:

$$F_h = W_i \times k_h$$

## 7.7 Sovrappinta dell'acqua

Poichè tutti i terreni hanno permeabilità inferiore a  $5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  non si è considerata la sovrappinta idrodinamica.

## 7.8 Combinazioni di carico

Per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)
- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;



- instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;
  - instabilità del fondo scavo per sollevamento;
  - sifonamento del fondo scavo;
  - instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
  - SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
  - raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;
  - raggiungimento della resistenza strutturale della paratia,
- accertando che la condizione (6.2.1) sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.

Fermo restando quanto specificato nel § 6.5.3.1.1 per il calcolo delle spinte, per valori dell'angolo d'attrito tra terreno e parete  $\delta > \varphi'/2$  ai fini della valutazione della resistenza passiva è necessario tener conto della non planarità delle superfici di scorrimento.

	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	$\gamma_Q$	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  $\gamma_{G1}$

Tabella 2- Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab. 6.2.I NTC2008)

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
Coazione 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	$\gamma_r$	$\gamma_r$	1,0	1,0

Tabella 3- Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab.6.2.II NTC2008)

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Tabella 4: Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (Tabella 6.8.I - NTC 2008)

## 8 RISULTATI

### 8.1 Pareti

#### Stratigrafia:

Tipo : HORIZONTAL

Quota : 0 m

OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL

Quota : -5 m

OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL

Quota : -12 m

OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL

Quota : -30 m

OCR : 1

Strato di Terreno	Terreno	$\gamma$ dry	$\gamma$ sat	$\theta'$	$\theta$	$\nu$	$\phi$	$c'$	Su	Modulo Elastico	Eu	Evc	Eur	Ah	Av	exp Pa	Rur/Rvc	Rvc	Ku	Kvc	Kur	
		kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	°	°	°	°	kPa	kPa			kPa	kPa			kPa		kPa	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	
1	ba	19	19	24				5		Constant		22000	66000									
2	TRVb_1	19	19	26				5		Constant		35000	105000									
3	TRVb_2	19	19	30				5		Constant		80000	240000									
4	TRVb_3	19	19	30				5		Constant		120000	360000									

#### Parete sx:

X : 8.6 m

Quota in alto : -3.85 m

Quota di fondo : -33.85 m

Muro di destra

Armatura Lunghezza segmenti : 1 m

Rinforzo longitudinale 1

Lunghezza : 30 m

Materiale :

Quota iniziale : -3.85 m

Barre 1

Numero di barre : 36

Diametro : 0.026 m

Distanza dal bordo : 0.087 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

Copertura : 0.06 m

Diametro : 0.014 m

Lunghezza : 30 m

Quota iniziale : -3.85 m

Passo : 0.2 m

Rinforzo longitudinale 2

Lunghezza : 30 m

Materiale :

Quota iniziale : -3.85 m

Barre 1

Numero di barre : 36

Diametro : 0.026 m

Distanza dal bordo : 0.127 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

Copertura : 0.1 m

Diametro : 0.014 m

Lunghezza : 30 m

Quota iniziale : -3.85 m

Passo : 0.2 m

Sezione : paratia fi1500

Area equivalente : 1.10446616727766 m

Inerzia equivalente : 0.1553 m<sup>4</sup>/m

Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 1.6 m

Diametro : 1.5 m

Efficacia : 1

Parete dx:

X : 0 m

Quota in alto : -3.85 m

Quota di fondo : -33.85 m

Muro di sinistra

Armatura Lunghezza segmenti : 1 m

Rinforzo longitudinale 1

Lunghezza : 30 m

Materiale :

Quota iniziale : -3.85 m

Barre 1

Numero di barre : 36

Diametro : 0.026 m

Distanza dal bordo : 0.087 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

Copertura : 0.06 m

Diametro : 0.014 m

Lunghezza : 30 m

Quota iniziale : -3.85 m

Passo : 0.2 m

Rinforzo longitudinale 2

Lunghezza : 30 m

Materiale :

Quota iniziale : -3.85 m

Barre 1

Numero di barre : 36

Diametro : 0.026 m

Distanza dal bordo : 0.127 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

Copertura : 0.1 m

Diametro : 0.014 m

Lunghezza : 30 m

Quota iniziale : -3.85 m

Passo : 0.2 m

Armatura Lunghezza segmenti : 1 m

Rinforzo longitudinale 1

Lunghezza : 30 m

Materiale :

Quota iniziale : -3.85 m

Barre 1

Numero di barre : 36

Diametro : 0.026 m

Distanza dal bordo : 0.087 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

Copertura : 0.06 m

Diametro : 0.014 m

Lunghezza : 30 m

Quota iniziale : -3.85 m

Passo : 0.2 m

Rinforzo longitudinale 2

Lunghezza : 30 m

Materiale :

Quota iniziale : -3.85 m

Barre 1

Numero di barre : 36

Diametro : 0.026 m

Distanza dal bordo : 0.127 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

Copertura : 0.1 m

Diametro : 0.014 m

Lunghezza : 30 m

Quota iniziale : -3.85 m

Passo : 0.2 m

Sezione : paratia fi1500

Area equivalente : 1.10446616727766 m

Inerzia equivalente : 0.1553 m<sup>4</sup>/m

Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 1.6 m

Diametro : 1.5 m

Efficacia : 1

#### Riepilogo per tutte le Design Assumption (DA) attive

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)    0.74    D.A. SISMICA GEO (Stage 5)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)    0.15    D.A. SISMICA GEO (Stage 1)

#### Risultati Elementi parete (Beam)

Max. momento (assoluto) [kNm/m]    1453.54    Z = -7.6 m    D.A. SISMICA GEO (Stage 3)

Max. taglio [kN/m]    734.77    Z = -4.45 m    D.A. SISMICA GEO (Stage 5)

Max. sfruttamento a flessione    0.302    Z = -7.6 m    D.A. SISMICA GEO (Stage 3)

Max. sfruttamento a taglio    0.947    Z = -4.45 m    D.A. SISMICA GEO (Stage 5)

Max. ampiezza fessure [mm]    0.123    Z = -4.55 m    D.A. SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Stage 5)

RELAZIONE DI CALCOLO

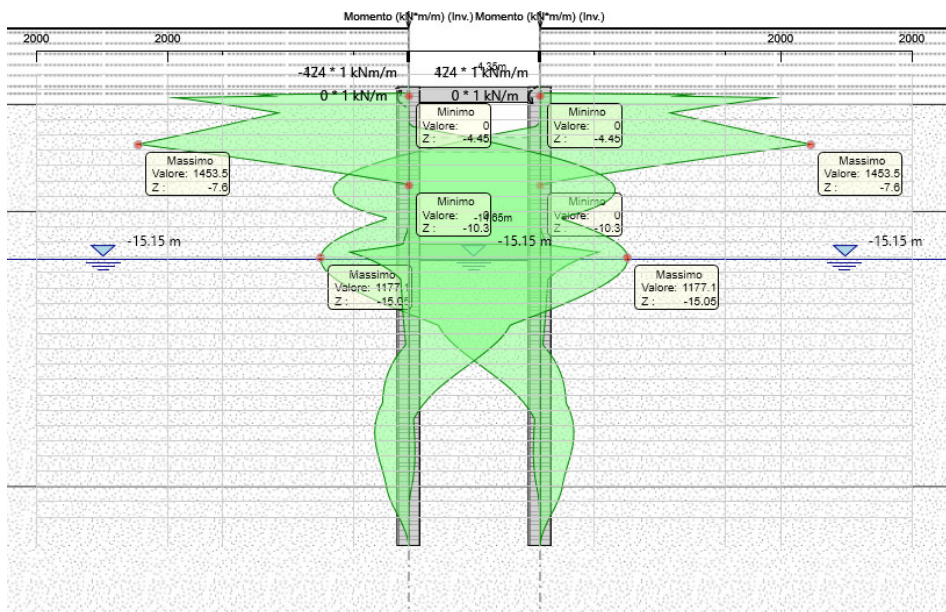
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 29 CL	GA02 00 001	A	31 di 42

Incidenza Armature:

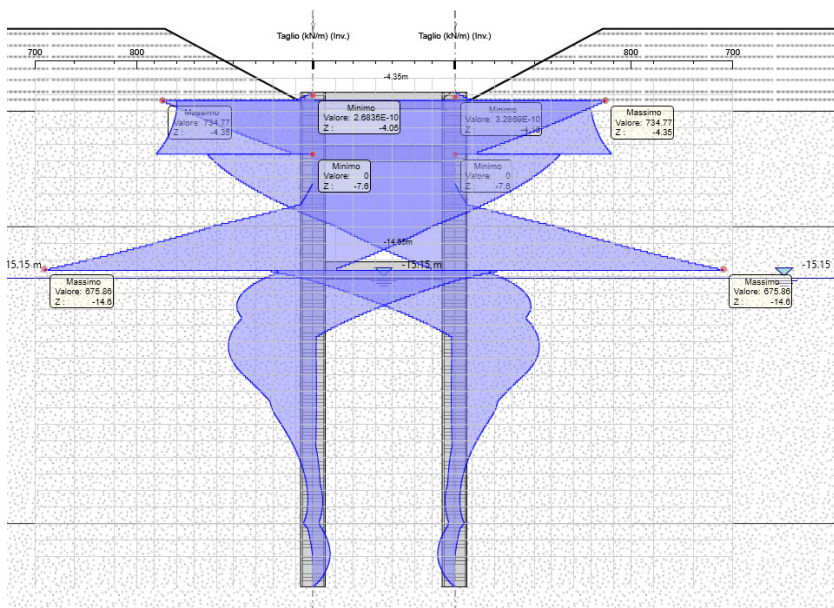
Pali: 220 kg/m<sup>3</sup>

Solettone: 150 kg/m<sup>3</sup>

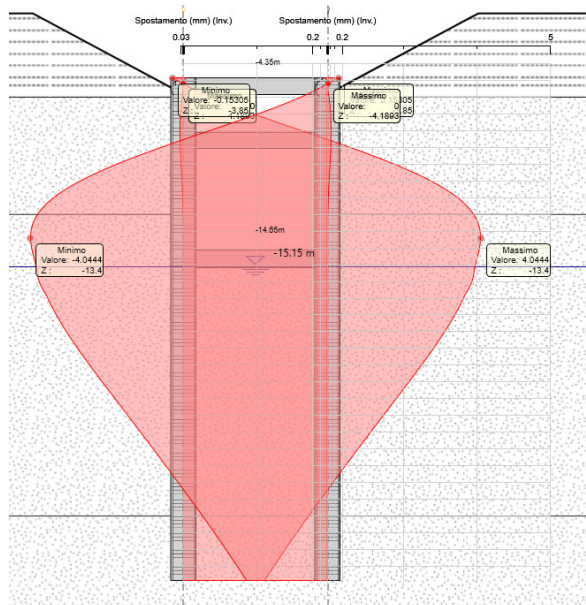
Inviluppo Momento:



Inviluppo Taglio:



Spostamento SLE:



Riepilogo Combinazioni di carico

Nome	Carichi Permanenti Sfavorevoli (F_dead_load_unfavour)	Carichi Permanenti Favorevoli (F_dead_load_favour)	Carichi Variabili Sfavorevoli (F_live_load_unfavour)	Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_favour)	Carico Sismico (F_seism_load)	Pressio ni Acqua Lato Monte (F_WaterDR)	Pressio ni Acqua Lato Valle (F_WaterRes)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_UPL_G_DStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_UPL_G_GStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_UPL_Q_DStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_HYD_G_DStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_HYD_G_GStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_HYD_Q_DStab)
Simbolo	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_Q$	$\gamma_Q$	$\gamma_{QE}$	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_{Gdst}$	$\gamma_{Gstb}$	$\gamma_{Qdst}$	$\gamma_{Gdst}$	$\gamma_{Gstb}$	$\gamma_{Qdst}$
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SLE	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
(Rara/Frequente/Quasi Permanente)													
A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1	1	1	1.3	0.9	1
A2+M2+R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1
SISMICA STR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SISMICA GEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

Nome	Parziale su $\tan(\theta')$ (F_Fr)	Parziale su $c'$ (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_{qu}$	$\gamma_\gamma$



Nome	Parziale su tan( $\phi'$ ) (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_cohes)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	$\gamma\phi$	$\gamma c$	$\gamma c_u$	$\gamma q_u$	$\gamma\gamma$
Nominal	1	1	1	1	1
SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	1
A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1
SISMICA STR	1	1	1	1	1
SISMICA GEO	1.25	1.25	1.4	1	1

Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	$\gamma R_e$	$\gamma a_p$	$\gamma a_t$	
Nominal	1	1	1	1
SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1
A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1.2	1.1	1
A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1
SISMICA STR	1	1.2	1.1	1
SISMICA GEO	1	1.2	1.1	1

## 8.2 Verifiche strutturali solettone di copertura

Per il solettone di copertura si è considerato lo schema statico di una trave incastrata ai due estremi soggetta ad un carico uniforme distribuito pari al peso proprio, peso del terreno di ricoprimento di spessore assunto cautelativamente pari a 3.85m, e ad un carico accidentale di 20kPa per simulare la presenza del carico di traffico stradale.

Pertanto le azioni, a metro lineare, agenti sul solettone di copertura, sono pari a:

$$q = 77 \text{ kN/m (peso terreno ricoprimento solettone---"G2")}$$

$$q = 25 \text{ kN/m (peso proprio solettone----"G1")}$$

$$q = 20 \text{ kN/m (carico variabile da traffico---"Q")}$$

$$M_{estremità}: \text{ (Momento semi-incastro solettone } q l^2 / 12)$$

$$M_{campata}: \text{ (Momento in campata solettone } q l^2 / 24)$$

I coefficienti di combinazione utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni sono quelli riportati nella tabella seguente:

COEFFICIENTI	SLE	STR
$\gamma_{G1}$	1	1.3
$\gamma_{G2}$	1	1.5
$\gamma_Q$	1	1.5

$$M_{SLU} = (1.3 \cdot 25 + 1.5 \cdot 77 + 1.5 \cdot 20) \cdot 8.6^2 / 12 = 1097 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$T_{SLU} = (1.3 \cdot 25 + 1.5 \cdot 77 + 1.5 \cdot 20) \cdot 8.6 / 2 = 765 \text{ kN}$$

$$M_{SLE} = (25 + 77 + 20) \cdot 8.6^2 / 12 = 752 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	337.50	MPa	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C30/37

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	100.0
3	50.0	100.0
4	50.0	0.0

### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.2	8.8	26
2	-41.2	91.2	26
3	41.2	91.2	26
4	41.2	8.8	26
5	41.2	14.0	26
6	-41.2	14.0	26

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	26
2	2	3	8	26
3	5	6	3	26

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	26
2	2	3	8	26
3	5	6	3	26

### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	8 mm
Passo staffe:	10.9 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale

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

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	0.00	1097.00	765.00

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	752.00	0.00

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.5 cm

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 29 CL	GA02 00 001	A	36 di 42

Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.6 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 6.7 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x 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 >=1.000  
As Totale Area totale barre longitudinali [cm<sup>2</sup>]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	0.00	1097.00	0.00	2573.32	2.35	132.7(30.0)

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

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
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	0.00350	-50.0	100.0	0.00120	-41.2	91.2	-0.02034	-41.2	8.8

**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	0.000261424	-0.022642438		

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe: 8 mm  
Passo staffe: 10.9 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [kN] =  $V_y$  ortogonale all'asse neutro  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 29 CL	GA02 00 001	A	37 di 42

A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	765.00	2516.14	774.53	94.6   85.8	100.0	2.500	1.000	9.1	9.2(0.0)

**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 [Mpa]  
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 [Mpa]  
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	4.37	-50.0	100.0	-122.4	-22.9	8.8	2250	79.6

**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]  
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
k2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2\*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
wk Apertura fessure in mm calcolata = sr max\*(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 [kNm]  
My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00070	0	0.500	26.0	75	0.00037 (0.00037)	380	0.140 (0.20)	685.47	0.00

### 8.1 Verifiche strutturali rivestimento

Il rivestimento viene verificato come trave incastrata (alla soletta inferiore) ed appoggiata (alla soletta superiore), soggetta alla spinta dell'acqua ed alle forze di inerzia. Si analizza una sezione di lunghezza unitaria. La falda è posizionata 2.0m sotto il solettone superiore.

La spinta dell'acqua è valutata come:

$$P = \gamma * H = 10 * 5.9 = 59 \text{ kN/m}$$

La spinta inerziale è valutata come:

$$P = a_g * S * \gamma * s = 0.145 * 1.477 * 25 * 0.6 = 3.3 \text{ kN/m}$$

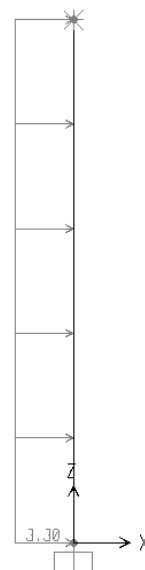
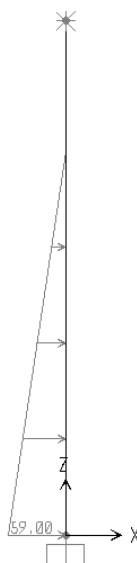
(in favore di sicurezza allo spessore della parete 50cm viene aggiunto quello dello spritz-beton di 10cm)

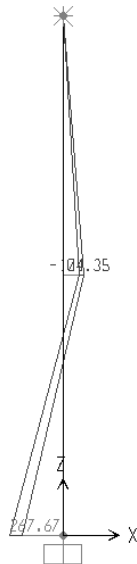
Combinazioni:

SLU: 1.5\* Falda

SLV: 1.0\* Falda + 1.0\* Sisma

SLE: 1.0\* Falda





*Sollecitazioni Inviluppo SLU/SLV Momento e Taglio*

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	8.500 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 MPa
	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:	337.50 MPa	

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37
N°vertice:	X [cm]      Y [cm]

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 29 CL	GA02 00 001	A	40 di 42

1	-50.0	0.0
2	-50.0	50.0
3	50.0	50.0
4	50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.5	8.5	20
2	-41.5	41.5	20
3	41.5	41.5	20
4	41.5	8.5	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	8	20

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe:	8	mm
Passo staffe:	16.0	cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale	

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.		
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate		
N°Comb.	N	Mx	Vy
1	0.00	204.10	169.90
2	0.00	267.70	230.00

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	178.50	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate



RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 29 CL	GA02 00 001	A	41 di 42

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.5	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.7	cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x 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 >=1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm <sup>2</sup> ]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	0.00	204.10	0.00	464.17	2.27	47.1(15.0)
2	S	0.00	267.70	0.00	464.17	1.73	47.1(15.0)

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

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	0.00350	-50.0	50.0	0.00009	-41.5	41.5	-0.01314	-41.5	8.5
2	0.00350	-50.0	50.0	0.00009	-41.5	41.5	-0.01314	-41.5	8.5

**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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000400893	-0.016544637		
2	0.000000000	0.000400893	-0.016544637		

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe:	8	mm
Passo staffe:	16.0	cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = Vy ortogonale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d   z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro   Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.

RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 29 CL	GA02 00 001	A	42 di 42

I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	169.90	1114.02	233.62	46.5  38.0	100.0	2.500	1.000	4.6	6.3(0.0)
2	S	230.00	1114.02	233.62	46.5  38.0	100.0	2.500	1.000	6.2	6.3(0.0)

**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 [Mpa]  
 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 [Mpa]  
 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	5.85	-50.0	50.0	-157.3	-41.5	8.5	1150	31.4

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

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00104	0	0.500	20.0	75	0.00047 (0.00047)	379	0.179 (0.20)	146.85	0.00