CONSORZIO DI BONIFICA DI PIACENZA

Sede legale: 29122 Piacenza – strada Val Nure, 3 – tel. 0523 464811 – fax 0523 464800 – C.F. 91096830335
info@cbpiacenza.it – www.cbpiacenza.it
e-mail certificata: cbpiacenza@pec.it

Titolo progetto:

AIPO PCE-809 - Rialzo dell'argine maestro in dx. fiume Po nel II C.I. di Piacenza per l'adeguamento della sagoma definitiva prevista dal piano S.I.M.P.O. in Comune di Calendasco e Rottofreno. Nuovo impianto di sollevamento (Galeotto) in località Chiavica Tidoncello in Comune di Calendasco.

Titolo lotto:

1° Lotto prestazionale. Lavori di adeguamento del reticolo idraulico artificiale di pianura a servizio della nuova chiavica Galeotto sull'argine maestro di Po, nei comuni di Rottofreno e Calendasco (PC).

Localizzazione: Comuni di Rottofreno e Calendasco– Provincia di Piacenza – Regione Emilia Romagna

CUP: G75B18003620005

P R O G E T T O E S E C U T I V O - L O T T O 1

Importo complessivo PE:
€ 3.150.000,00

Importo Lotto 1:
€ 1.350.000,00

Attività	Soggetto	Ente/Oe
PROGETTAZIONE		
Coordinatore della progettazione:	ing. Debora Siviero	CBPC
GRUPPO DI PROGETTAZIONE		
Progetto geotecnico strutturale:	ing. Chiara Celada	CBPC
Progetto idraulico:	ing. Debora Siviero	CBPC
Sicurezza:	geom. Luca Corsini	CBPC
Elaborati grafici	arch. Raphaela Itimura de Camargo	CBPC

Redatto da: Ing. DEBORA SIVIERO

RUP: arch. Pierangelo Carbone

Gruppo Elaborati: **Relazioni specialistiche**

Titolo:

Calcoli esecutivi strutture in c.a.

CODICE:
galeotto-2019-cbpc-tidone
FILE:
server/progettazione/2019-PE-Galeotto

DATA:

27-4-2020

LIV. PROG:		DOC:	PROGR:	TAV:	SCALA:	REV:
ES		**B**	**1**	**-**	**-**	**-**

Revisione:	Descrizione:	Redatto:	Data:	RUP:	Data:	Approvato:	Data:
E							
D							
C							
B							
A	EMISSIONE	ing. Debora Siviero	27-4-2020	arch. Pierangelo Carbone	27-4-2020		

Sommario

1 Premesse 2

2 Normativa di riferimento 3

3 Disegni di riferimento 4

4 Descrizione della struttura in c.a. – nuova chiavica Galeotto 5

5 Caratteristiche dei materiali impiegati 6

5.1 Calcestruzzo strutturale di classe di resistenza C25/30 ed esposizione XC2 6

5.2 Acciaio in barre ad aderenza migliorata per cemento armato saldabile 7

6 Caratteristiche del terreno 8

7 Valutazione dell'azione sismica 9

8 Criteri generali di progetto 9

8.1 Criteri generali di progetto dei manufatti 9

8.1.1 Combinazioni di carico 10

8.1.2 Verifiche agli stati limite ultimi 11

8.1.3 Verifiche agli stati limite di esercizio 12

9 Azioni e condizioni di carico 12

9.1 Analisi delle azioni 12

9.2 Combinazioni di carico 14

9.2.1 Analisi dei risultati 15

9.2.2 Dimensionamento armatura 18

10 Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo 18

1 Premesse

La presente relazione riguarda il dimensionamento e le verifiche dei manufatti di linea posizionati lungo il tracciato del nuovo reticolo previsto in progetto dalla chiavica Riva alla nuova chiavica Galeotto e dalla chiavica Torchione alla nuova chiavica Galeotto.

Dopo una breve descrizione degli elementi costruttivi (cap.4), sono riportati, nell'ordine, le caratteristiche dei materiali che si intende impiegare (cap.5), le caratteristiche dei terreni presenti in sito (cap.6) i parametri inerenti la valutazione dell'azione sismica da considerarsi (cap.7) e i criteri generali di progetto (cap.8).

Nel cap. 9 sono quindi definite le azioni agenti sul manufatto e le condizioni di carico considerate per le verifiche. Sempre nel cap. 9 viene riportato il dimensionamento degli elementi principali dell'opera in esame. Per il dimensionamento si è fatto uso del codice di calcolo AZTEC, modulo SCAT specifico per il dimensionamento e la verifica di scatolari gettati in opera in c.a. Infine all'interno dello stesso capitolo sono riportati i risultati delle verifiche e il dimensionamento dell'armatura.

Dapprima vengono sono elencate le condizioni di carico, il dimensionamento dell'armatura e poi si riporta l'analisi dei risultati. Nel capitolo 10 sono descritte le nozioni riguardanti l'affidabilità dei codici di calcolo impiegati per il dimensionamento strutturale dei manufatti.

2 Normativa di riferimento

Il dimensionamento e le verifiche strutturali sono state svolte in conformità alla normativa nazionale vigente, ed in particolare, nel rispetto delle disposizioni di:

[A] Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17/01/2018 (di seguito "NTC 2018");

[B] Circolare esplicativa 02/02/2009 contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" (di seguito "Circolare");

[C] Eurocodice 2 "Progetto di strutture in calcestruzzo" UNI EN 1992-1-1 (di seguito "EC2")

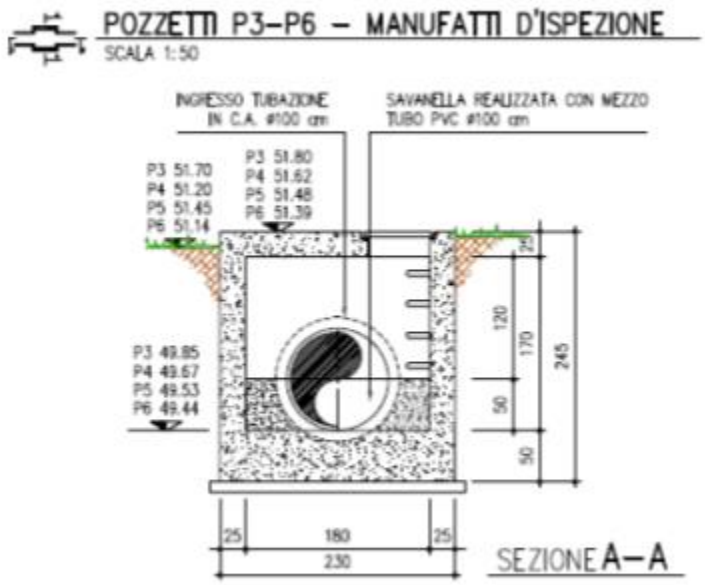
[D] Delibera di giunta regionale n. 1164 del 23/7/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dell'Emilia Romagna.

3 Disegni di riferimento

Le opere oggetto della presente relazione sono rappresentate nei seguenti elaborati grafici:

TAV C_2_2	Interventi di adeguamento del sistema idrico superficiale - sezioni tipologiche e particolari costruttivi manufatti di linea tratta da Riva a Nuova Galeotto	1:50
TAV C_2_3	Interventi di adeguamento del sistema idrico superficiale - sezioni tipologiche e particolari costruttivi manufatti di linea tratta da Torchione a Nuova Galeotto	1:50
TAV C_2_4	Interventi di adeguamento del sistema idrico superficiale - armature manufatti di linea tratta da Torchione a Nuova Galeotto	1:50

Di seguito si riportano alcune tipologie di manufatti sottoposti a verifica.



4 Descrizione della struttura in c.a. – nuova chiavica Galeotto

Lungo il reticolo irriguo, adeguato in seguito alla realizzazione della nuova chiavica Galeotto, è prevista la realizzazione in totale di n.16 manufatti di linea elencati di seguito (si vedano le tavole 2.2, 2.3, 2.4).

A) Tratta da Riva a nuova Galeotto

Pozzetto P1 – manufatto di presa chiavica Riva;

Pozzetto P2 – manufatto di ispezione e di deviazione angolare;

Pozzetti da P3 a P6 – manufatti di ispezione;

Pozzetto P7 – manufatto di presa chiavica Tidoncello;

Pozzetto P8 – manufatto di deviazione d'asse a inizio tratto tombinato;

Pozzetto P9 – manufatto di ingresso alla nuova chiavica Galeotto;

Pozzetto P10 – manufatto di ispezione.

B) Tratta da Torchione a nuova Galeotto

Pozzetto P16 – manufatto di presa dal fosso di alimentazione della chiavica Torchione;

Pozzetto P15 – manufatto di presa dal fosso di alimentazione della chiavica Gobbi;

Pozzetti P14, P13 e P12 – manufatti di deviazione angolare;

Pozzetto P11 – manufatto di presa chiavica Galeotto esistente;

Pozzetto P10 – manufatto di ispezione;

Pozzetto P9 – manufatto di ingresso alla nuova chiavica Galeotto.

In tabella sono riassunte le dimensioni dei 16 pozzetti previsti, per le sezioni e le specifiche di progetto si vedano gli elaborati (tav. 2.2, 2.3, 2.4).

	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Spessore (m)
Pozzetto P1	3,00	2,30	0,25
Pozzetto P2	3,00	5,00	0,25
Pozzetti P3 – P6	2,50	2,30	0,25
Pozzetto P7	3,30	3,30	0,25
Pozzetto P8	4,06	3,80	0,25
Pozzetto P9	4,10	3,60	0,25
Pozzetto P10	2,80	2,5	0,25
Pozzetti P11	3,00	3,00	0,25
Pozzetto P12	3,00	3,00	0,25
Pozzetto P13	3,00	3,00	0,25
Pozzetto P14	4,05	2,30	0,25
Pozzetto P15	3,60	2,30	0,25
Pozzetto P16	3,00	2,30	0,25

5 Caratteristiche dei materiali impiegati

Per la realizzazione delle strutture in c.a. è previsto l'utilizzo dei seguenti materiali:

- Calcestruzzo strutturale di classe di resistenza C25/30 ed esposizione XC2, classe di consistenza S4-fluida;
- Acciaio saldabile in barre ad aderenza migliorata per cemento armato tipo B450 C.

5.1 Calcestruzzo strutturale di classe di resistenza C25/30 ed esposizione XC2

Il calcestruzzo in oggetto presenta le seguenti caratteristiche:

- Peso specifico calcestruzzo armato; 25.0 kN/m^3
- Classe di resistenza; C 25/30
- resistenza a compressione cilindrica caratteristica fck; 25 MPa
- resistenza a compressione cilindrica media fcm ; 33 MPa

- resistenza a compressione cilindrica di design f_{cd}; 11.33 MPa

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

- coefficiente di sicurezza del calcestruzzo c; 1.5
- resistenza a trazione di progetto f_{ctd}; 1.20
- resistenza a trazione semplice fctm; 2.6 MPa
- resistenza a trazione caratteristica fctk; 1.8 Mpa
- modulo di elasticità Ecm 3100 MPa;

Per quanto attiene i requisiti prestazionali di durabilità si fa riferimento alla norma UNI 11104:2004:

- Copriferro minimo; 4 cm
- classe di esposizione; XC2
- diametro massimo degli inerti; 31.5 mm
- rapporto massimo acqua cemento a/c; 0.60
- contenuto minimo di cemento; 330 kg/mc
- consistenza calcestruzzo fresco; S4 - fluida (slump test: 160÷210 mm)

5.2 Acciaio in barre ad aderenza migliorata per cemento armato saldabile

Tipo di acciaio: B450C, controllato in stabilimento.

- Tensione caratteristica di snervamento: f_{yk} 450 MPa
- Tensione caratteristica di rottura: f_{tk} 540 MPa
- La resistenza a snervamento di progetto fyd è pari a: 391.3 MPa

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1.15} = 391.3 \text{ MPa}$$

dove $\gamma_s = 1.15$ è il coefficiente parziale di sicurezza del materiale acciaio.

- E modulo elastico 210000 MPa

6 Caratteristiche del terreno

In tabella sono riportati i valori dei parametri geotecnici ricavati sulla base delle indagini geognostiche effettuate in sito. La campagna geognostica è stata eseguita da AIPO nell'ambito della realizzazione del progetto *"Lavori di rialzo dell'argine maestro in destra Fiume Po nel II° C.I. di Piacenza per l'adeguamento della sagoma definitiva prevista dal Piano Simpo in Comune di Calendasco e Rottofreno"* e pertanto non è riportata nella presente relazione. Per il dimensionamento dei manufatti sono stati quindi utilizzati i parametri geotecnici ricavati dalle indagini fatte in sede preliminare da AIPO e di seguito riassunte in tabella.

I parametri geotecnici utilizzati sono stati ripresi dalla relazione geologica e geotecnica di AIPO.

	$\gamma_{nat}\ \left[\frac{kN}{mc}\right]$	$C'_k\ [kPa]$	$\varphi'[°]$	$E_{ed_k}[MPa]$
$Materiale\ di\ riporto\ tipo\ A$	18.5	11.36	21.6	4.39
$Materiale\ di\ riporto\ tipo\ B$	19.0	11.21	23.8	5.45
$Materiale\ di\ riporto\ tipo\ C$	20.0	–	30.0	42.39
$Orizzonte\ 1$	18.5	11.35	21.8	4.44
$Lente\ 1A$	20.0	–	31.0	49.21
$Lente\ 1B$	19.0	11.19	24.7	4.71
$Orizzonte\ 2$	19.0	11.18	25.9	4.44
$Orizzonte\ 3$	20.5	–	36.0	66.81

Tabella 1 – Parametri geotecnici dei terreni costituenti le arginature ed i terreni di fondazione

Per le verifiche dei manufatti in c.a. sono stati utilizzati, a favore di sicurezza, i parametri geotecnici corrispondenti allo strato di materiale di riporto tipo A.

7 Valutazione dell'azione sismica

In questo capitolo viene analizzato il carico dovuto all'effetto del sisma sui manufatti di progetto. In seguito saranno specificati in dettaglio anche gli altri carichi agenti. Saranno inoltre analizzate per ciascun elemento le combinazioni di carico da applicare per l'analisi strutturale. Per il dimensionamento sarà svolta un'analisi simica pseudo-statica conformemente a quanto riportato al cap. 7.11.6.2.1 delle NTC 2018.

L'opera in progetto ricade nel comune di Calendasco (PC), classificata in zona sismica 3 secondo quanto riportato all'interno della Deliberazione della giunta regionale n. 1164 del 23 luglio 2018 in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06) ed è caratterizzato dai seguenti valori dei parametri su sito di riferimento rigido orizzontale (DM 17/01/2018):

COMUNE DI CALENDASCO (PC)							
Stato limite	a_g /g (g)	F_o	T_C^* (s)	Tipo di suolo D	Cat. Amplificazione topografica Ss	kh	kv
SLU	0,078	2,508	0,281	1,8	D	0,14	0,057
SLE	0,032	2,538	0,207	1,8	D		

dove:

T_R = periodo di ritorno di riferimento;

a_g (g) = accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

k_h = coefficiente di intensità sismica orizzontale;

k_v = coefficiente di intensità sismica verticale pari a 0,5 k_h.

8 Criteri generali di progetto

8.1 Criteri generali di progetto dei manufatti

I manufatti in c.a. sono stati verificati con l'ausilio del software AZTEC, modulo "SCAT 14" specifico per il dimensionamento dei manufatti scatolari. Le verifiche sono state svolte secondo le NTC2018 considerando le diverse combinazioni di carico previste dalle norme e i carichi agenti sulla struttura. Tutte le verifiche hanno riguardato sia le condizioni statiche che dinamiche dei manufatti. Nella modellazione la struttura viene discretizzata in elementi tipo trave, mentre il comportamento del terreno di fondazione e di rinfianco viene

simulato inserendo delle molle alla Winkler non reagenti a trazione. I risultati vengono riportati in termini di spostamenti, sollecitazioni agenti sulla struttura e pressioni sul terreno.

8.1.1 Combinazioni di carico

Per tali verifiche si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carico:

- Combinazione SLU (fondamentale, sismica ed eccezionale);
- Combinazioni SLE (rara, frequente e quasi permanente).

La simbologia comune a tutte le combinazioni di carico trattate dalla Normativa entrata in vigore il 17 gennaio 2018 è la seguente:

G_1 : azioni dovute ai pesi propri degli elementi strutturali;

G_2 : azioni dovute ai carichi permanenti non strutturali portati degli elementi;

Q_{ki} : azioni variabili;

E : azioni dovute al sisma;

A_d : azioni eccezionali;

γ_{Gi} , γ_{Qi} : coefficienti parziali per le azioni (Tabella 2.6.I NTC 2018);

ψ_i : coefficienti di combinazione delle azioni variabili, definiti in funzione della categoria di appartenenza delle stesse (Tabella 2.5.I NTC 2018).

Combinazione Fondamentale (SLU)

$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \ldots$

Combinazione Eccezionale (SLU)

$A_d + G_1 + G_2 + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \ldots$

Combinazione Sismica (SLU)

$E + G_1 + G_2 + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \ldots$

Combinazione Rara (SLE)

$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2} + \ldots$

Combinazione Frequente (SLE)

$G_1 + G_2 + \psi_{11}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \ldots$

Combinazione Quasi Permanente (SLE)

$G_1 + G_2 + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \ldots$

8.1.2 Verifiche agli stati limite ultimi

Le verifiche strutturali sono state condotte secondo la combinazione 1 dell'approccio 1 (A1+M1+R1), nella quale i parametri di resistenza del terreno (M1) e i coefficienti sulla resistenza globale (R1) sono unitari, mentre alle azioni permanenti e variabili sono applicati i coefficienti del gruppo A1.

Nelle tabelle che seguono si riportano per chiarezza i valori dei coefficienti utilizzati, coerentemente con le indicazioni riportate nelle NTC 2018.

Tabella 2.6.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU*

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,9 1,1	1,0 1,3	1,0 1,0
Carichi permanenti non strutturali[(1)]	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
[(1)]Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.					

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_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}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 2.5.I – *Valori dei coefficienti di combinazione*

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

8.1.3 Verifiche agli stati limite di esercizio

Per quanto riguarda le verifiche agli stati limite di esercizio, in accordo con la Normativa italiana, sono state svolte:

- Verifiche a fessurazione;
- Verifica delle tensioni.

Per le verifiche a fessurazione sono state definite:

- Condizioni ambientali ordinarie;
- Barre di armatura ad aderenza migliorata;
- Armature poco sensibili;
- Valori limite di apertura delle fessure [mm] w_1 0,20, $w_2 = 0{,}30$ e $w_3 = 0{,}40$ come riportato all'interno del capitolo 4.1.2.2.4.1 delle NTC18.

Per le verifiche a fessurazione sono state definite le tensioni massime nel calcestruzzo e nell'acciaio in funzione delle combinazioni di carico.

9 Azioni e condizioni di carico

In questo capitolo vengono specificate le azioni agenti da considerarsi ai fini delle verifiche strutturali e le condizioni di carico, con le relative combinazioni come da normativa.

9.1 Analisi delle azioni

Azioni permanenti strutturali: G1

Per il calcolo del peso proprio degli elementi strutturali si è assunta una densità del calcestruzzo armato pari a $\gamma_{cls} = 25$ kN/m^3.

Azioni permanenti non strutturali: G2

<u>Spinta del terreno sui piedritti</u>

La teoria di Coulomb considera l'ipotesi di un cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea. Dall'equilibrio del cuneo si ricava la spinta che il terreno esercita sull'opera di sostegno. In particolare Coulomb ammette, al contrario della teoria di Rankine, l'esistenza di attrito fra il terreno e la parete, e quindi la retta di spinta risulta inclinata rispetto alla normale alla parete stesso di un angolo di attrito terra-parete. L'espressione della spinta esercitata da un terrapieno, di peso di volume Υ, su una parete di altezza *H*, risulta espressa secondo la teoria di Coulomb dalla seguente relazione (per terreno incoerente)

$$S = 1/2 \Upsilon H^2 K_a$$

K_a rappresenta il coefficiente di spinta attiva di Coulomb nella versione riveduta da Muller-Breslau, espresso come

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \phi)}{\sin^2\alpha \, \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \frac{\sqrt{[\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\beta)]}}{\sqrt{[\sin(\alpha-\delta)\sin(\alpha+\beta)]}} \right]^2}$$

dove Φ è l'angolo d'attrito del terreno, α rappresenta l'angolo che la parete forma con l'orizzontale, δ è l'angolo d'attrito terreno-parete, β è l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale.

La spinta risulta inclinata dell'angolo d'attrito terreno-parete δ rispetto alla normale alla parete.

Il diagramma delle pressioni del terreno sulla parete risulta triangolare con il vertice in alto. Il punto di applicazione della spinta si trova in corrispondenza del baricentro del diagramma delle pressioni (1/3 H rispetto alla base della parete).

Nel caso di terreno dotato di attrito e coesione *c* l'espressione della pressione del terreno ad una generica profondità *z* vale

$$\sigma_a = \Upsilon z K_a - 2 c \sqrt{K_a}$$

<u>Azione sismica:</u>

<u>Spinta in presenza di sisma - Metodo di Mononobe-Okabe</u>

L'analisi sismica viene impostata direttamente all'interno del codice di calcolo, i parametri sismici vengono ricavati in funzione delle coordinate geografiche del sito di interesse.

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

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

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta э = \beta + \theta$$

dove $\theta = \mathrm{arctg}(k_h/(1 \pm k_v))$ essendo kh il coefficiente sismico orizzontale e kv il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di kh. Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

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

dove il coefficiente A vale

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

Tale incremento di spinta deve essere applicato ad una distanza dalla base pari a 1/3 dell'altezza della parete. Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali che si destano per effetto del sisma. Tale forza viene valutata come

$$Fi = CW$$

dove W è il peso della parete e dei relativi sovraccarichi permanenti e va applicata nel baricentro dei pesi.

I principali coefficienti utilizzati nel calcolo dell'incremento di spinta sono riportati in tabella.

COMUNE DI CALENDASCO (PC)							
Stato limite	a_g/g (g)	F_o	T_C^* (s)	Tipo di suolo D	Cat. Amplificazione topografica Ss	kh	kv
SLU	0,078	2,508	0,281	1,8	D	0,14	0,057
SLE	0,032	2,538	0,207	1,8	D		

9.2 Combinazioni di carico

Il metodo di verifica utilizzato è il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

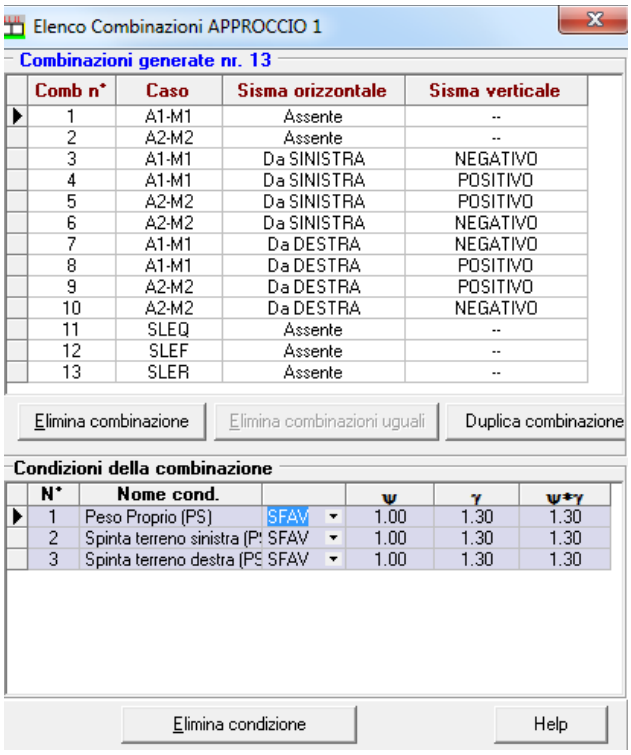
Per tali verifiche si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carico:

- Combinazione fondamentale;
- Combinazione caratteristica;
- Combinazione frequente;
- Combinazione quasi permanente;
- Combinazione sismica;

Per le verifiche strutturali delle membrature resistenti del manufatto in esame si utilizzano le seguenti condizioni di carico:

1. Condizione SLU/SLE: viene considerato il sovraccarico sul terreno circostante e l'azione sismica;

I coefficienti di partecipazione utilizzati sia nelle verifiche con combinazione statica che sismica sono riportate nell'"Allegato 1" alla presente relazione.



Elenco Combinazioni APPROCCIO 1

Combinazioni generate nr. 13

Comb n°	Caso	Sisma orizzontale	Sisma verticale
1	A1-M1	Assente	--
2	A2-M2	Assente	--
3	A1-M1	Da SINISTRA	NEGATIVO
4	A1-M1	Da SINISTRA	POSITIVO
5	A2-M2	Da SINISTRA	POSITIVO
6	A2-M2	Da SINISTRA	NEGATIVO
7	A1-M1	Da DESTRA	NEGATIVO
8	A1-M1	Da DESTRA	POSITIVO
9	A2-M2	Da DESTRA	POSITIVO
10	A2-M2	Da DESTRA	NEGATIVO
11	SLEQ	Assente	--
12	SLEF	Assente	--
13	SLER	Assente	--

Elimina combinazione | Elimina combinazioni uguali | Duplica combinazione

Condizioni della combinazione

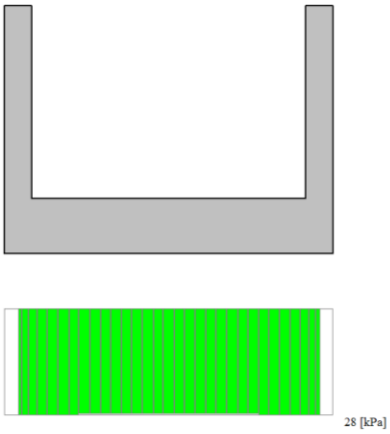
N°	Nome cond.		ψ	γ	ψ*γ
1	Peso Proprio (PS)	SFAV	1.00	1.30	1.30
2	Spinta terreno sinistra (P:	SFAV	1.00	1.30	1.30
3	Spinta terreno destra (PS	SFAV	1.00	1.30	1.30

Elimina condizione | Help

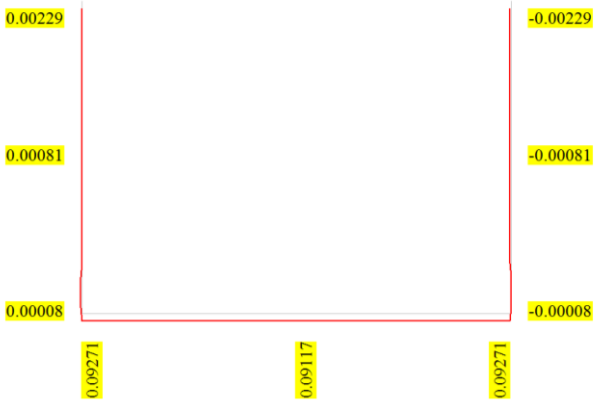
Screenshot combinazioni

9.2.1 Analisi dei risultati

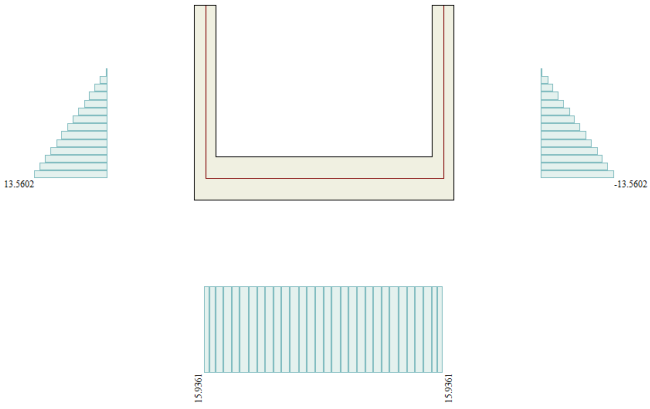
I risultati vengono riportati in termini di deformazioni, pressioni che il manufatto genera sul terreno di fondazione, momento, taglio e azione assiale di cui ne viene riportato un esempio riferito ad una tipologia di manufatto.



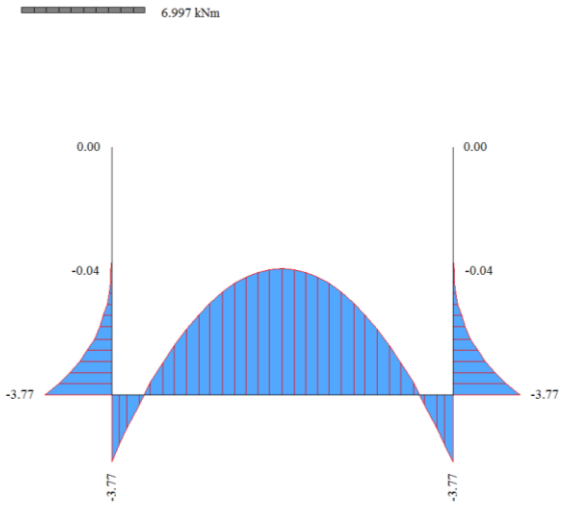
Pressioni fondazione (kPa) pozzetto P1



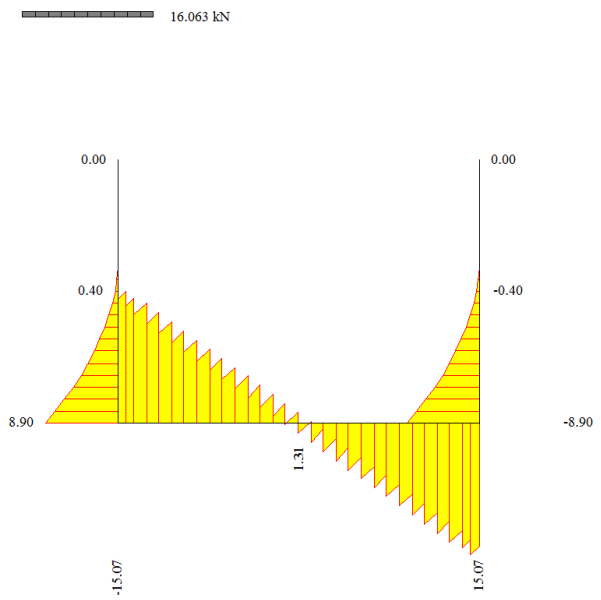
Deformata pozzetto P1



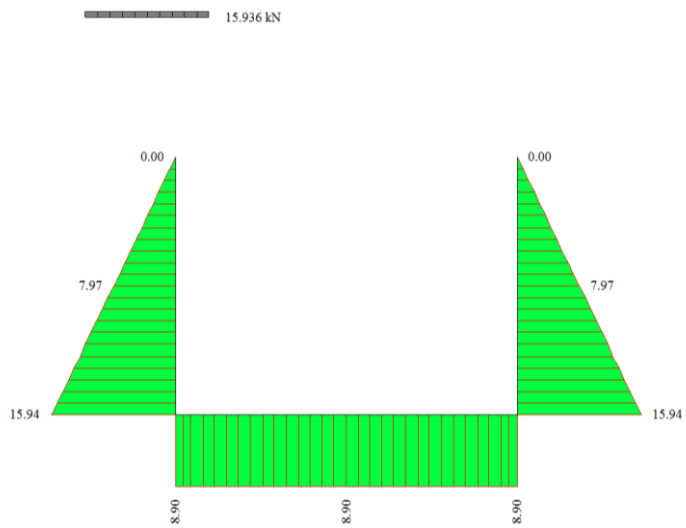
Pressioni pozzetto P1



Momento (kNm) pozzetto P1



Taglio (kN) pozzetto P1



Azione assiale (kN) pozzetto P1

9.2.2 Dimensionamento armatura

L'armatura dei manufatti è stata dimensionata rispettando le disposizioni normative delle NTC2018 e i minimi riportati in normativa corrispondenti ad un valore monimo di armatura in zona tesa pari a 0,15%. Per le verifiche di tutti i manufatti è stato impostato un copriferro minimo di almeno 4 cm. Il ferro da impiegare per realizzare le armature è del tipo B450 C barre ad aderenza migliorata.

La sintesi dell'armatura per le diverse tipologie è riportata in tabella seguente, per maggiori dettagli si veda la tavola di progetto C_2_4.

Manufatto	**Armatura longitudinale elevazione (kg)**	**Armatura trasversale elevazione (kg)**	**Armatura longitudinale fondazione (kg)**	**Armatura trasversale fondazione (kg)**
	Φ10	Φ 12	Φ 10	Φ 12
Pozzetto P1	128	220	73	76
Pozzetto P2	126	242	183	183
Pozzetto P3	100	206	125	127
Pozzetto P4	100	206	125	127
Pozzetto P5	100	206	125	127
Pozzetto P6	100	206	125	127
Pozzetto P7	161	286	213	213
Pozzetto P8	218	362	286	283
Pozzetto P9	286	453	306	306
Pozzetto P10	128	230	147	149
Pozzetto P11	167	280	183	183
Pozzetto P12	146	263	183	183
Pozzetto P13	167	280	183	183
Pozzetto P14	177	279	94	97
Pozzetto P15	164	257	86	87
Pozzetto P16	147	235	73	76

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

a) Per i dimensionamenti dei manufatti di presa, di derivazioni e di alloggiamento delle apparecchiature idrauliche è stato utilizzato il software AZTEC Informatica S.r.l, " Il software per l'ingegneria

geotecnica e strutturale", Corso Umberto I, 43- 87050 Casali del Manco, loc Casole Bruzio (CS). Nello specifico le verifiche sono state realizzate con il modulo SCAT - strutture scatolari specifiche per il dimensionamento di pozzetti e scatolari.

b) Affidabilità: Aztec Informatica aderendo pienamente alla propria missione, sta al fianco di ogni progettista, fornendogli un'assistenza tecnica di alta qualità, che non teme confronti, grazie al contatto quotidiano con i Clienti. Nel mercato dei software, caratterizzato da continua evoluzione e innovazione, nessuno potrà mai vendere un software perfetto ed immune da errori. Per tale motivo l'elemento di distinzione su cui vale la pena concentrare la propria valutazione è rappresentato dall'affidabilità e dalla serietà di chi con trasparenza cura il "prodotto software" giorno dopo giorno, come i tecnici Aztec dediti al proprio lavoro, per assicurare un prodotto eccellente, che continua a migliorare nel tempo.

c) Modalità di presentazione dei risultati: il software restituisce come output delle simulazioni una relazione in formato word completa di tutte le informazioni dell'opera. All'interno della relazione è riportato l'inquadramento normativo impostato nel software per svolgere i calcoli, l'inquadramento geotecnico in cui è inserita l'opera, le caratteristiche dei materiali utilizzati, l'inquadramento sismico della zona e le combinazioni di carico che si decide di generare. I risultati delle modellazioni vengono restituiti sia in formato tabellare dove vengono riassunti i risultati delle sollecitazioni e i relativi fattori di sicurezza, sia in formato grafico riportando i diagrammi delle sollecitazioni (azione assiale, taglio , momento e pressioni) che sono generate sull'opera. Il programma consente di impostare in fase di progettazione le caratteristiche dei ferri d'armatura, e successivamente restituisce in formato grafico l'armatura dimensionata.

d) Validazione dei codici: nel corso degli anni il Consorzio di Bonifica di Piacenza ha utilizzato i diversi moduli del software AZTEC S.r.l per sviluppare numerosi progetti.
    - Con il modulo PAC, è stata progettata una berlinese a sostegno degli scavi per la realizzazione della vasca di dissipazione presso la Diga del Molato;
    - Con il modulo SCAT sono stati verificati e progettati i manufatti d'ispezione delle condotte, le opere accessorie di laghi irrigui e alcuni serbatoi acquedottistici a servizio delle zone montane;
    - Con il modulo MAX sono stati progettati e verificati muri di sostegno realizzati dal Consorzio contro il dissesto idrogeologico.

e) Informazioni sull'elaborazione: il software AZTEC consente di sviluppare le analisi sia in condizioni statiche sia dinamiche, considerando la presenza della falda e di eventuali carichi presenti sia sullo scatolare sia sul terreno. Il modulo SCAT, utilizzato per l'analisi di strutture scatolari sia completamente che parzialmente interrate, permette di verificare diverse geometrie di scatolari realizzati con materiali diversi. Il terreno di fondazione e di rinfianco viene schematizzato secondo il modello di Winkler modificato. Il progetto di verifica è svolto secondo la teoria degli stati limite

(SLU), quindi ogni sezione viene verificata con il metodo degli stati limite ultimi e degli stati limite di esercizio. Tutte le verifiche sono state eseguite impostando i coefficienti delle NTC2008 utilizzando l'Approccio 1 con la combinazione 1 (A1+M1+R1) per le verifiche strutturali e la combinazione 2 (A2+R2+M2) per quelle prettamente geotecniche. La spinta che il terreno esercita sui piedritti viene calcolata con il metodo di Coulomb, la pressione esercitata dal terreno con il metodo di Terzaghi e l'incremento della spinta dovuta al sisma con la formulazione di Mononobe-Okabe.

f) Giudizio motivato di accettabilità dei risultati: in fase di progettazione preliminare il dimensionamento preliminare dei manufatti è stato fatto eseguendo una prima verifica di equilibrio considerando come contributo instabilizzante la spinta del terreno e come contributo stabilizzante il peso della struttura in c.a. Nella successiva fase di progettazione esecutiva le verifiche di pre-dimensionamento sono state confermate dai risultati ottenuti come output del software AZTEC. Poiché, si tratta di strutture relativamente semplici, si ritiene di considerare del tutto accettabili i risultati ottenuti dalla fase di modellazione.

ALLEGATO 1

COEFFICIENTI DI PARTECIPAZIONE UTILIZZATI NELLE SIMULAZIONI

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{G1fav}	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1sfav}	1.30	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2fav}	0.80	0.80
Permanenti non strutturali	Sfavorevole	γ_{G2sfav}	1.50	1.30
Variabili	Favorevole	γ_{Qifav}	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qisfav}	1.50	1.30
Variabili da traffico	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.35	1.15
Termici	Favorevole	$\gamma_{\varepsilon fav}$	0.00	0.00
Termici	Sfavorevole	$\gamma_{\varepsilon sfav}$	1.20	1.20

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	*Effetto*		*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{G1fav}	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1sfav}	1.00	1.00
Permanenti	Favorevole	γ_{G2fav}	0.00	0.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G2sfav}	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qifav}	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qisfav}	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.00	1.00
Termici	Favorevole	$\gamma_{\varepsilon fav}$	0.00	0.00
Termici	Sfavorevole	$\gamma_{\varepsilon sfav}$	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.00
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00

Combinazione n° 1 SLU (Caso A1-M1)

	Effetto	**γ**	**Ψ**	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 SLU (Caso A2-M2)

	Effetto	**γ**	**Ψ**	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 3 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	**γ**	**Ψ**	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 4 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	**γ**	**Ψ**	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 5 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	**γ**	**Ψ**	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 6 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 8 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 9 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 SLU (Caso A2-M2) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 11 SLE (Quasi Permanente)

	Effetto	γ	Ψ	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 13 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	**C**
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00