

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE  
 OBIETTIVO N. 443/01  
 LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA      Tratta VERONA – PADOVA  
 Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza  
 PROGETTO ESECUTIVO  
 OPERE CIVILI  
 BLOCCHI DI FONDAZIONE  
 GENERALE  
 RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTO TTC - INTEGRATIVO**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE Ing. Giovanni MALAYENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MESSINA n. 4503 Data: Ottobre 2022	Consorzio Iricav Due ing. Paolo CARMONA Data: Ottobre 2022			

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

I	N	1	7	1	0	E	I	2	C	L	O	C	0	0	0	0	0	0	7	B	-	-	-	P	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Ing. Alberto LEVORATO 	Ottobre 2022

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	Murru 	04/2021	Pantalena 	04/2021	Galvanin 	04/2021	
B	Rev. per RdV: IN17-RV-0000000254	Murru 	10/2022	Pantalena 	10/2022	Galvanin 	10/2022	

CIG: 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1710EI2CLOC0000007B.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 2 di 35	

## INDICE

1	DESCRIZIONE GENERALE .....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
3.1	Elaborati progettuali.....	5
4	METODO DI CALCOLO .....	6
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	7
5.1	Calcestruzzo .....	7
5.2	Acciaio per cemento armato .....	7
5.3	Durabilità e prescrizioni sui materiali .....	7
6	PARAMETRI SISMICI .....	9
7	PARAMETRI GEOTECNICI .....	10
8	CRITERI DI VERIFICA GLOBALE .....	12
8.1	Verifica a ribaltamento .....	12
8.2	Verifica a carico limite .....	12
8.3	Verifica a scorrimento .....	14
9	CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE.....	15
10	CRITERI DI CALCOLO DELLE SPINTE .....	16
11	SCARICHI A TESTA BASAMENTO.....	20
11.1	Combinazioni di carico.....	20
11.2	Azioni di progetto .....	21
12	ANALISI STRUTTURALE.....	21
13	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	26
13.1	Sollecitazioni intradosso fondazione.....	26
13.2	Verifica di capacità portante e scorrimento .....	27
13.3	Verifiche al ribaltamento .....	31
14	VERIFICHE STRUTTURALI.....	32
14.1	Verifica del basamento di ancoraggio del palo.....	34

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 3 di 35	

## 1 DESCRIZIONE GENERALE

La presente relazione riguarda l'intervento di realizzazione dei basamenti in c.a. per I tiranti di tipo TCC, previsti dalla Fase 1-2 della stazione di Altavilla della Linea AV/AC Torino – Venezia - Tratta Verona - Padova - Lotto funzionale Verona-Bivio Vicenza al fine di poter realizzare

Il plinto, denominato TTC-Integrativo, ha le seguenti dimensioni in pianta 1.20 m x 3.50 m ed una altezza di 2.50 m (pari a 2.00 m+0.50 m). Per la carpenteria e dettagli di armatura si rimanda agli elaborati grafici allegati all'opera (rif. § 3).

GENERAL CONTRACTOR  IFICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 4 di 35	

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN 197-1 giugno 2001 – “Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni”;
- UNI EN 11104 luglio 2016 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1;
- UNI EN 206-1 ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1: Regole generali e regole per edifici”;
- D. M. Min. Il. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni;
- CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n.617 Istruzione per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008;
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale;
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle Opere Civili Parte II sezione 2 Ponti e Strutture;
- RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle Opere Civili Parte II Sezione 3 Corpo Stradale;
- Capitolato delle Opere Civili rev. B.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  <b>IRICAV2</b>		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 5 di 35

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Elaborati progettuali

[1]	IN1711EI2RBGE0000004	Relazione geotecnica
[2]	IN1710EI2EEOC0000003	ELENCO ELABORATI
[3]	IN1712EI2PZRI77A7001	RILEVATO FERROVIARIO DA PK 40+287,46 A PK 40+950,00; ALTAVILLA FASE 1 – Planimetria di tracciamento pali
[4]	IN1712EI2PZRI78A7001	RILEVATO FERROVIARIO DA PK 40+950,00 A PK 41+615,35; ALTAVILLA FASE 1 – Planimetria di tracciamento pali
[5]	IN1712EI2PZRI79A7001	RILEVATO FERROVIARIO DA PK 41+615,35 A PK 42+071,63; ALTAVILLA FASE 1 – Planimetria di tracciamento palo segnalamento
[6]	IN1712EI2PZRI8107001	RILEVATO FERROVIARIO DA PK 42+475,00 A PK 42+825,00; ALTAVILLA FASE 1 – Planimetria di tracciamento pali
[7]	IN1712EI2PZRI8207001	RILEVATO FERROVIARIO DA PK 42+825,00 A PK 43+175,00; ALTAVILLA FASE 1 – Planimetria di tracciamento pali
[8]	IN1712EI2PZRI8307001	RILEVATO FERROVIARIO DA PK 43+175,00 A PK 43+525,00; ALTAVILLA FASE 1 – Planimetria di tracciamento pali
[9]	IN1710EI2BZOC0000014	CARPENTERIA E ARMATURA BLOCCO DI FONDAZIONE B0a
[10]	IN1710EI2BZOC0000015	CARPENTERIA E ARMATURA BLOCCO DI FONDAZIONE B1
[11]	IN1710EI2BZOC0000016	CARPENTERIA E ARMATURA BLOCCO DI FONDAZIONE P8D
[12]	IN1710EI2BZOC0000017	CARPENTERIA E ARMATURA BLOCCO DI FONDAZIONE P2MEC
[13]	IN1710EI2BZOC0000018	CARPENTERIA E ARMATURA BLOCCO DI FONDAZIONE POT
[14]	IN1710EI2BZOC0000019	CARPENTERIA E ARMATURA BLOCCO DI FONDAZIONE TTCa
[15]	IN1710EI2BZOC0000020	CARPENTERIA E ARMATURA BLOCCO DI FONDAZIONE TTBa
[16]	IN1710EI2BZOC0000021	CARPENTERIA E ARMATURA BLOCCO DI FONDAZIONE SEGNALE S43 S45
[17]	IN1710EI2BZOC0000022	CARPENTERIA E ARMATURA BLOCCO DI FONDAZIONE TTCa - INTEGRATIVO
[18]	IN1710EI2CLOC0000001	RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI B0a
[19]	IN1710EI2CLOC0000002	RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI B1
[20]	IN1710EI2CLOC0000003	RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI P8D
[21]	IN1710EI2CLOC0000004	RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI P2MEC
[22]	IN1710EI2CLOC0000005	RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI POT
[23]	IN1710EI2CLOC0000006	RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTO SEGNALE S43 S45
[24]	IN1710EI2CLOC0000007	RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTO TTC – INTEGRATIVO
[25]	IN1712EI23TLC2500K10	INTERFERENZA STAZIONE ALTAVILLA (WBS LC250) CARICHI ALLA BASE PALI LSU

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 6 di 35	

#### 4 METODO DI CALCOLO

Il metodo di calcolo e di verifica utilizzato è quello degli stati limite (SLU-SLE). I risultati dell'analisi strutturale condotta per le singole condizioni di carico, moltiplicati da opportuni coefficienti e combinati in casi di carico, definiscono le sollecitazioni di calcolo delle membrature da verificare.

Le opere oggetto della presente relazione sono state progettate e calcolate secondo i metodi della scienza delle costruzioni, adottando per le verifiche il criterio degli stati limite (S.L.).

I criteri generali di sicurezza sono stati assunti in conformità con il D.M. 14.01.2008 – “Norme tecniche per le costruzioni” e relativa circolare esplicativa (Circolare 02.02.2009 n. 617/C.S.LL.PP.), nonché alle Istruzioni RFI/DTC/INC/PO/SP/IFS/001/A.

I carichi derivanti dalla struttura sovrastante sono stati determinati con riferimento alle norme tecniche NTC 2008 (rif.[25]). Per essi si rimanda alla apposita documentazione tecnica prodotta da Saturno relativamente all'intera linea.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 7 di 35

## 5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 5.1 Calcestruzzo

Per il magrone di sottofondazione si prevede l'utilizzo di calcestruzzo di classe Rck 15.

Per la realizzazione dei basamenti si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza 25/30 ( $R_{ck} \geq 30$  N/mm<sup>2</sup>) che presenta le seguenti caratteristiche:

Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica)  $f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 24.90$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza media a compressione  $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.90$  N/mm<sup>2</sup>

Modulo elastico  $E_{cm} = 5700 \cdot \sqrt{R_{ck}} = 31220$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza di calcolo a compressione  $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.6 = 13.28$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione media  $f_{ctm} = 0.27 \cdot R_{ck}^{2/3} = 2.60$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione  $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79$  N/mm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione di calcolo  $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.12$  N/mm<sup>2</sup>

### 5.2 Acciaio per cemento armato

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C saldabile, controllato in stabilimento e che presentano le seguenti caratteristiche:

Proprietà	Requisito
Limite di snervamento $f_y$	$\geq 450$ MPa
Limite di rottura $f_t$	$\geq 540$ MPa
Allungamento totale al carico massimo $A_{gt}$	$\geq 7.5\%$
Rapporto $f_t/f_y$	$1,15 \leq R_m/R_e \leq 1,35$
Rapporto $f_{y \text{ misurato}}/f_{ynom}$	$\leq 1,25$

Tensione di snervamento caratteristica  $f_{yk} \geq 450$  N/mm<sup>2</sup>

Tensione caratteristica a rottura  $f_{tk} \geq 540$  N/mm<sup>2</sup>

### 5.3 Durabilità e prescrizioni sui materiali

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si fa riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004.



GENERAL CONTRACTOR  IFICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 9 di 35	

## 6 PARAMETRI SISMICI

Le opere sono ubicate nel comune di Altavilla Vicentina.

Si assumono:

Vita nominale  $V_N = 50$  anni

Classe d'uso della costruzione: III, coefficiente  $C_u = 1.5$ ;

Periodo di riferimento  $V_R = 75$  anni.

I corrispondenti valori delle caratteristiche sismiche per lo SLV ( $P_{VR} = 10\%$ ) sono i seguenti:

$$a_g = 0.173g$$

$$F_0 = 2.441;$$

$$T^*_c = 0.285 \text{ s};$$

Per quanto riguarda il sottosuolo su cui insiste l'opera, si assume che ricada in categoria sismica "C" e categoria topografica "T1". I coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica risultano quindi:

$$S_S = 1.447$$

$$S_T = 1.0$$

L'accelerazione massima orizzontale viene valutata pari a:

$$a_{\max} (\text{SLV}) = S a_g = 0.173 \times 1.00 \times 1.447 g = 0.250 g$$

da cui si ottiene:

$$k_h = 0.250 g$$

$$k_v = \pm 0.125 g$$

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  <b>IRICAV2</b>	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC-INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 10 di 35

## 7 PARAMETRI GEOTECNICI

Sulla base della Relazione geotecnica (da 33+500 a 44+250) - di cui rif. § 3.1, di seguito si riassume la stratigrafia di progetto e i parametri geotecnici caratteristici come risultato della campagna indagini.

I terreni rinvenuti lungo il tracciato sono stati raggruppati in Unità geotecniche di riferimento. Nel tratto oggetto della presente relazione, sono state individuate le seguenti unità (a partire dal p.c.):

- Limi argillosi compatti (Unità 2). Sono generalmente presenti sia in strati superficiali, per profondità dai 3 m ai 15 m da p.c., sia in profondità, intercalati nello strato ghiaioso. Si tratta di depositi a grana fine sovraconsolidati, da poco plastici a plastici, compatti.
- Depositi ghiaiosi (Unità 6). Si tratta in genere di ghiaie con sabbie e sabbiose, limose o debolmente limose, presenti praticamente lungo tutto il tratto esaminato.

La stratigrafia di calcolo valida tra le progressive da pk 40+750 a pk 44+250 - Figura 1 - è caratterizzata da uno strato superficiale di limi argillosi da debolmente sabbiosi a sabbiosi, con spessori variabili generalmente fra 3 e 8 m (unità 2), seguito da uno spesso strato di ghiaia fino alle massime profondità indagate (unità 6).

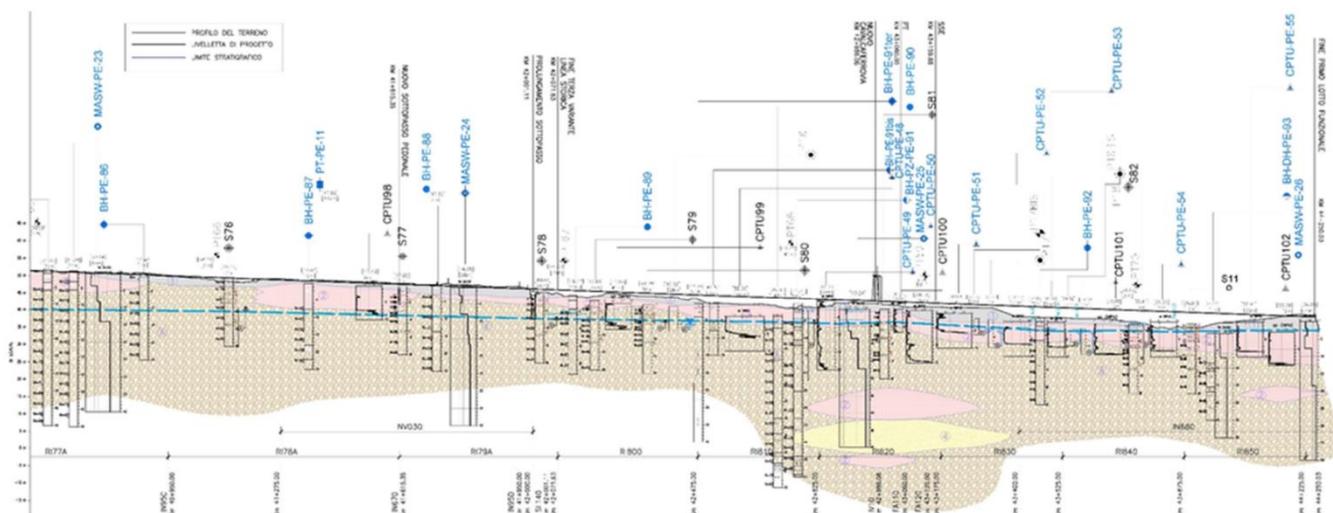


Figura 48 – Profilo geotecnico, da pk 40+750 a pk 44+250

Figura 1 – Profilo geotecnico (stralcio), da pk 40+750 a pk 44+250

La Tabella 1 riassume i parametri geotecnici caratteristici delle unità di riferimento.

Tabella 21 - Parametri geotecnici caratteristici per la tratta dalla 39+200 alla 44+250

Unità	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Dr (%)	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	Vs (m/s)	G0 (MPa)	E' (MPa)	c <sub>u</sub> (kPa)	$\sigma'_p$ (kPa)
2	18-19	-	0-10	26-30	100-200	20-90	10-30 <sup>(1)</sup> 25-50	50-120 <sup>(1)</sup> 120-200 <sup>(2)</sup>	150-300 <sup>(1)</sup>
6	19-20	25-60	0	39-41	250-400	120-300	50-240		-

Note

(1) Valori nei primi 5-10 m

(2) Valori per strati fini in profondità

Tabella 1. Parametri geotecnici caratteristici

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 11 di 35

Ai fini del presente Progetto, per un'adeguata modellazione delle opere previste, è stata assunta una stratigrafia operativa semplificata e uniforme, considerando la sola Unità 2 con le seguenti caratteristiche resistive:

$$\gamma_k = 18-19 \text{ kN/m}^3;$$

$$\phi'_k = 28^\circ;$$

$$c'_k = 5 \text{ kPa};$$

$$C_{uk} = 70 \text{ kPa}.$$

Il valore della coesione non drenata è relativo ai valori osservati nella tratta come riportato nel sottostante grafico riportato nella citata relazione geotecnica di tratta, considerato che i plinti verranno realizzati in fregio alla linea esistente e che quindi il terreno risulta già consolidato dai carichi applicati nel tempo dalla massicciata e dai carichi applicati.

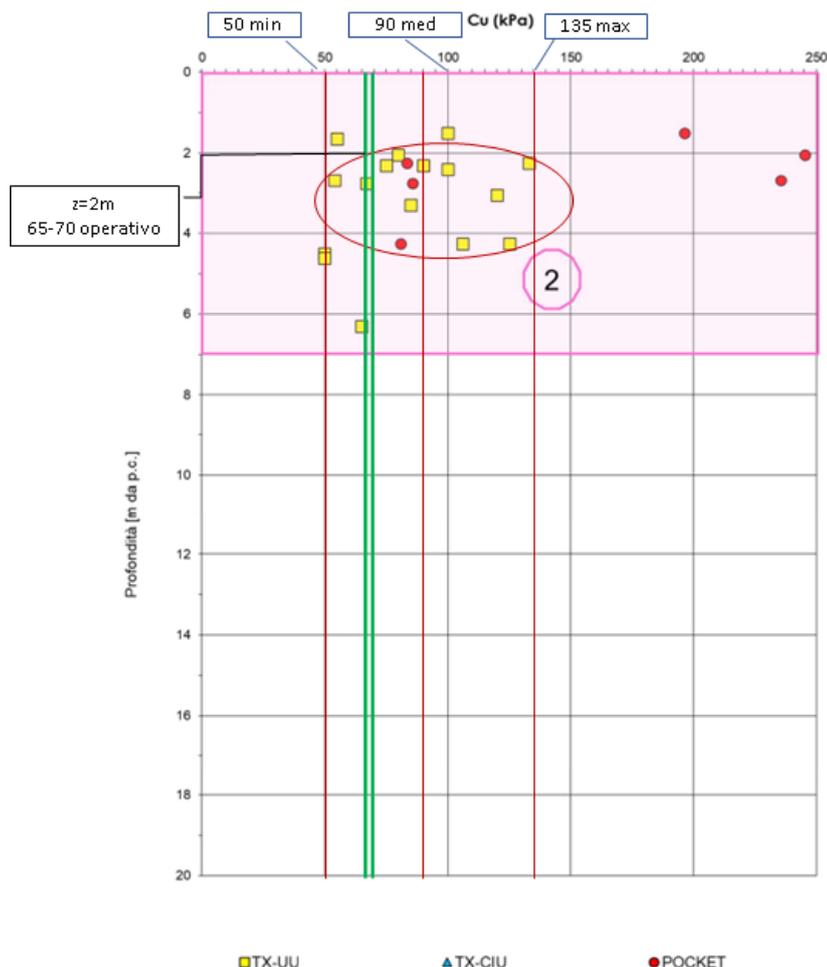


Figura 31 – Resistenza al taglio non drenata stimata da prove di laboratorio Unità 2, tra pk 39+200 e pk 44+250

La falda di progetto è assunta a quota imposta delle fondazioni.

GENERAL CONTRACTOR  IFICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 12 di 35

## 8 CRITERI DI VERIFICA GLOBALE

### 8.1 Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il plinto (momento ribaltante  $E_d$ ) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il plinto (momento stabilizzante  $R_d$ ) rispetto al punto di rotazione e verificare che il rapporto  $R_d/E_d$  sia maggiore di 1.

$$R_d/E_d \geq 1$$

L'azione ribaltante è dovuta ai carichi derivanti dalla struttura metallica e dalla sua azione inerziale in presenza di sisma, mentre il contributo stabilizzante dal peso del basamento e dall'azione verticale della sovrastruttura. I plinti in esame sono totalmente immersi nel terreno e si muovono con esso, pertanto non sono soggetti ad azioni inerziali proprie e dovute alle spinte del terreno.

A favore di sicurezza si trascura comunque il contributo stabilizzante del terreno laterale, considerando pertanto l'opera a gravità.

### 8.2 Verifica a carico limite

Il rapporto fra il carico ultimo in fondazione e la risultante dei carichi indotta dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore ad 1. Detto  $E_d$  il carico gravante in fondazione e  $R_d$  il carico ultimo in fondazione, ridotto globalmente di un certo coefficiente di sicurezza  $\gamma_R$  funzione dell'approccio utilizzato, deve risultare:

$$R_d/E_d \geq 1$$

Nella definizione di  $E_d$  e di  $R_d$  concorrono inoltre i fattori parziali di sicurezza sulle azioni e sui parametri geotecnici funzione dell'approccio utilizzato.

In particolare, si assume l'approccio 2 (A1+M1+R3) secondo i coefficienti riportati in NTC2008.

La capacità portante allo stato limite ultimo è stata calcolata con riferimento alle relazioni proposte da Brinch-Hansen:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} [5.14 \cdot c_u \cdot (1 + s'_c) \cdot i'_c + \gamma_1 \cdot D] \quad \text{BREVE TERMINE}$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \left[ \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \right] \quad \text{LUNGO TERMINE}$$

dove:

- $R_d$  = resistenza unitaria limite di progetto;
- $\gamma_R$  = coefficiente parziale in accordo con l'approccio 2 (A1+M1+R3) delle NTC2008;
- $\gamma_1$  = peso di volume del terreno sopra il piano di posa della fondazione;
- $D$  = profondità della fondazione dalla quota finale del terreno;
- $\gamma_2$  = peso di volume del terreno sotto il piano di posa della fondazione;
- $B$  = larghezza della fondazione;
- $N_q, N_\gamma$  = coefficienti adimensionali di capacità portante;
- $s_q, s_\gamma$  = coefficienti adimensionali di forma.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 13 di 35	

$i_v, i_q, i'_c$  = coefficienti di inclinazione del carico

I coefficienti di capacità portante e di forma sono calcolati con le seguenti relazioni:

$$N_q = \exp\{\pi \tan \phi_d\} \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi_d}{2} \right)$$

$$N_v = 1.5 \cdot (N_q - 1) \tan \phi_d$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \tan \phi_d$$

$$s_v = 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L}$$

$$s_c = 0.2 \cdot \frac{B}{L}$$

$$i'_c = 1 - \frac{m \cdot H}{B \cdot L \cdot c_u \cdot 5.14}$$

$$i_q = \left( 1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \varphi} \right)^m$$

$$i_v = \left( 1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \varphi} \right)^{m+1}$$

dove:

$\tan \phi_d$  = tangente dell'angolo d'attrito di progetto:  $\tan \phi_d = \frac{\tan \varphi}{\gamma_\varphi}$

B, L = dimensioni della fondazione

H = carico orizzontale

coefficienti m  $m = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$

Riguardo la verifica di capacità portante della fondazione in condizioni sismiche, sono stati introdotti i fattori correttivi sismici in accordo con Paolucci e Pecker (1997); sono riportati di seguito:

$$z_\gamma = z_q = (1 - k_h / \tan \varphi)^{0.35}$$

$$z_c = 1 - 0.32 \cdot k_h$$

con  $k_h$  coefficiente sismico  $k_h = \beta \cdot a_{\max}$ :

$a_{\max}$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$\beta$  è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima orizzontale attesa al sito.

Sulla base delle azioni in fondazione (verticali, orizzontali e momenti) derivanti dall'analisi strutturale, il calcolo del carico limite di progetto ( $R_d$ ) è stato effettuato considerando una fondazione equivalente con dimensioni ridotte:

$$B_r = B - 2e_x$$

$$L_r = L - 2e_y$$

dove  $e_x$  ed  $e_y$  sono le eccentricità in direzione x e y e valgono rispettivamente:  $M_y/F_z$  e  $M_x/F_z$ .

La Figura 2 illustra le convenzioni di segno e uno schema della fondazione equivalente.

GENERAL CONTRACTOR  IFICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 14 di 35

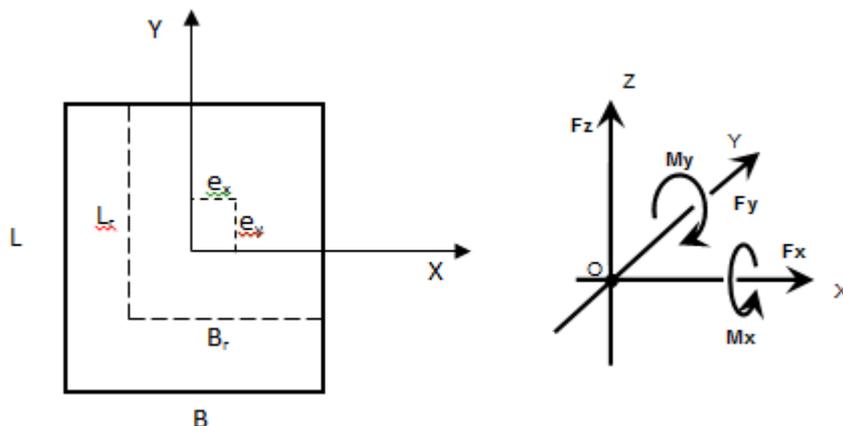


Figura 2- Fondazione equivalente

Il valore dell'azione di calcolo  $E_D$  deve essere confrontato con la resistenza ultima del sistema fondazione –terreno  $R_D$ ; deve risultare  $E_D \leq R_D$ .

#### Influenza della falda

Il carico limite è influenzato dalla presenza della falda sotto il piano di posa della fondazione nel caso in cui la distanza  $z_w$  risulti inferiore alla larghezza della fondazione  $B$  (Figura 3).

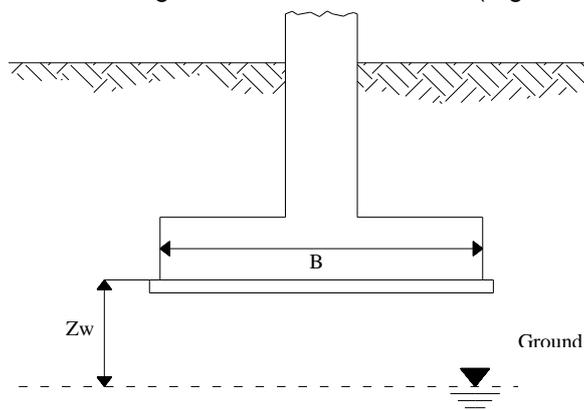


Figura 3 - Influenza della falda

In questo caso infatti la falda, ricadendo all'interno dell'area d'influenza della fondazione, comporta una riduzione del peso di volume del terreno sottostante la fondazione  $\gamma_2$  che viene calcolato come segue:

$$\gamma_2 = (\gamma - 10) + \frac{z_w}{B} \cdot 10 \quad \text{se } 0 \leq z_w \leq B$$

### 8.3 Verifica a scorrimento

La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento  $R_d$  e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro  $E_d$  risulta maggiore di 1.

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza

$$R_d/E_d \geq 1$$

Nella definizione di  $E_d$  ed  $R_d$  concorrono inoltre i fattori parziali di sicurezza sulle azioni e sui parametri geotecnici funzione dell'approccio utilizzato.

GENERAL CONTRACTOR  IFICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 15 di 35	

In particolare, si assume l'approccio 2 (A1+M1+R3) secondo i coefficienti riportati in NTC2008.

La resistenza limite unitaria allo scorrimento è:

$$\tau_{lim} = \sigma \cdot \tan(\delta\varphi)$$

con:

$\sigma$  = pressione trasmessa dalla fondazione;

$\varphi$  = angolo d'attrito del terreno di fondazione, opportunamente ridotto secondo normativa;

$\delta$  = coefficiente riduttivo dell'angolo di attrito = 0,8 per aderenza cls/terreno.

La resistenza allo scorrimento è:

$$T_d = \frac{T}{\gamma_R} = \frac{\tau \cdot B \cdot L}{\gamma_R}$$

La resistenza limite allo scorrimento, funzione della coesione non drenata, è calcolata come segue:

$$T_d = \frac{T}{\gamma_R} = \frac{c_u \cdot B \cdot L}{\gamma_R}$$

I coefficienti parziali da applicare ( $\gamma_R$ ) sono illustrati in Tabella 2.

Tabella 2- Coefficienti parziali – Resistenza allo scorrimento

Resistenza	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Scorrimento	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.1$	$\gamma_R = 1.1$

## 9 CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

Le verifiche sono condotte secondo il metodo agli stati limite in accordo alle formulazioni riportate nel capitolo 4 di NTC 2008.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 16 di 35	

## 10 CRITERI DI CALCOLO DELLE SPINTE

Di seguito si riportano i criteri generali per il calcolo delle spinte laterali.

### Spinte attive in condizioni statiche

Ad una generica profondità  $z$ , nel caso di terreno puramente granulare, lo sforzo orizzontale totale sulla parete è dato da:

$$\sigma_A(z) = K_A \cdot [\sigma_v(z) - u(z)] + u(z)$$

in cui

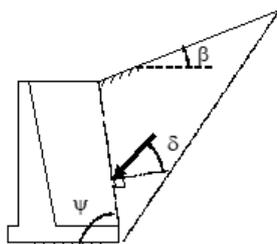
$\sigma_v(z)$  = sforzo verticale totale alla generica profondità, ossia il peso della colonna di terreno e di acqua soprastante la quota  $z$ .

$u(z)$  = pressione dell'acqua alla generica profondità

Il coefficiente di spinta attiva  $K_A$  viene valutato con le note formule derivate dalla teoria di Coulomb e sviluppate da Muller-Breslau.

#### CONDIZIONI DI SPINTA ATTIVA Teoria di Coulomb

$$K_A = \frac{\sin^2(\psi + \phi)}{\sin^2 \psi \sin(\psi - \delta) \left[ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\psi - \delta) \sin(\psi + \beta)} \right]^2}$$



### Spinte passive in condizioni statiche

Ad una generica profondità  $z$ , nel caso di terreno puramente granulare, lo sforzo orizzontale totale sulla parete è dato da:

$$\sigma_p(z) = K_p \cdot [\sigma_v(z) - u(z)] + u(z)$$

in cui

$\sigma_v(z)$  = sforzo verticale totale alla generica profondità, ossia il peso della colonna di terreno e di acqua soprastante la quota  $z$ .

$u(z)$  = pressione dell'acqua alla generica profondità

Il coefficiente di spinta passiva  $K_p$  viene valutato con la formula di Lancellotta (2006) considerando  $\tan \theta$  pari a 0.

$$K_{p,E} = \left[ \frac{\cos \delta}{\cos(\beta - \theta) - \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2(\beta - \theta)}} \times \left( \cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2 \delta} \right) \right] \cdot e^{2\alpha \tan(\phi)}$$

$$2\alpha = \arcsin\left(\frac{\sin \delta}{\sin \phi}\right) + \arcsin\left(\frac{\sin(\beta - \theta)}{\sin \phi}\right) + \delta + (\beta - \theta) + 2\theta$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 17 di 35	

### Spinte attive in condizioni sismiche

Nell'ambito dell'approccio psudo-statico, il sistema è pensato soggetto ad un'accelerazione sismica uniforme avente le seguenti componenti

Orizzontale =  $k_h \cdot g$  - Verticale =  $\pm k_v \cdot g$

La spinta totale attiva su un paramento di altezza pari ad H è data da:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) K_{A,E} H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

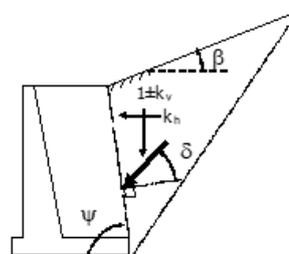
Il primo termine è la spinta attiva dovuta allo scheletro solido, il secondo termine  $E_{ws}$  è la risultante delle pressioni idrostatiche ed il terzo  $E_{wd}$  è la risultante delle sovrappressioni interstiziali.

I coefficienti di spinta attiva sono dati dalle seguenti espressioni (Mononobe & Okabe, nel seguito M-O):

#### CONDIZIONI DI SPINTA ATTIVA – Teoria di M-O

$$\beta \leq \phi - \theta: \quad K_{A,E} = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta: \quad K_{A,E} = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta)}$$



A seconda della definizione del peso specifico  $\gamma^*$  del cuneo e dell'angolo  $\theta$  definito come l'angolo, rispetto alla verticale, fra le azioni esterne orizzontali e quelle verticali agenti sul cuneo di spinta di volume V, l'espressione generale può essere utilizzata per tre diverse condizioni nelle quali può trovarsi il rilevato.

#### Rilevato asciutto

Non c'è alcuna azione dovuta all'acqua: corrisponde alla configurazione originale ipotizzata da M-O. Come peso specifico  $\gamma^*$  si deve assumere il peso secco  $\gamma_d$ ; la forza orizzontale  $F_h$  è pari alla massa del terreno moltiplicata per l'accelerazione orizzontale mentre la forza verticale  $F_v$  è il peso del cuneo incrementato o decrementato dall'accelerazione sismica verticale; quindi:

$$\gamma^* = \gamma_d$$

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 \pm k_v}$$

$$E_{ws} = E_{wd} = 0$$

#### Rilevato saturo a grana fine (dinamicamente impervio: $k < 5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ )

In sostanza si assume che l'acqua, imprigionata negli interstizi, si muova insieme con il terreno: l'accelerazione sismica agirà quindi sulla massa complessiva (terreno+acqua) del cuneo, pari a  $V \cdot \gamma_{sat}$ . Si ammette che le pressioni interstiziali non subiscano variazioni ai fini del calcolo delle azioni sulla parete. In questo caso l'equilibrio limite del cuneo è fatto al netto della risultante delle azioni idrostatiche e quindi, nelle formule generali, si assumerà:

$$\gamma^* = \gamma'$$

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 18 di 35

$$\tan \theta = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma'} \cdot \frac{k_h}{1 \pm k_v}$$

Alla spinta efficace dovrà essere aggiunta la spinta idrostatica dell'acqua, mentre, per ipotesi, la componente idrodinamica non può svilupparsi. Quindi:

$$E_{ws} = E_{wd} = 0$$

*Rilevato saturo a grana grossa (dinamicamente permeabile:  $k > 5 \cdot 10^{-4}$  m/s)*

Si ammette che l'acqua negli interstizi possa muoversi liberamente, indipendentemente dalle deformazioni subite dal terreno: l'accelerazione sismica agirà quindi sulla massa della sola parte solida del cuneo, pari a  $V \cdot \gamma_d$ . L'equilibrio limite del cuneo è fatto al netto della risultante delle pressioni interstiziali e quindi, nelle formule generali, si assumerà:

$$\gamma^* = \gamma'$$

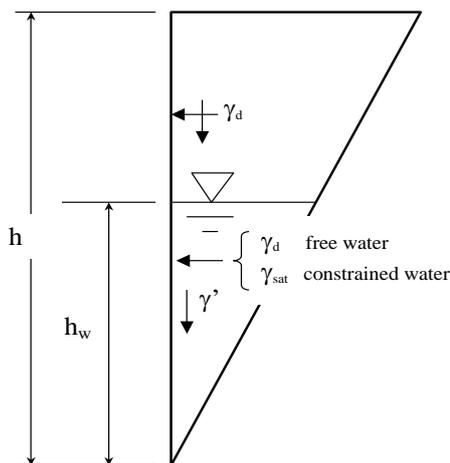
$$\tan \theta = \frac{\gamma_d}{\gamma'} \cdot \frac{k_h}{1 \pm k_v}$$

In questo caso dovranno essere aggiunte sia la spinta idrostatica sia la sovraspinta idrodinamica della stessa acqua di falda.

$$E_{ws} = \frac{1}{2} \gamma_w H^2$$

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2 \quad \text{con } H' = \text{altezza della freatica dal piede del muro.}$$

*Rilevato parzialmente immerso*



Ebeling e Morrison (1992) indicano il modo per utilizzare, anche in questo caso, le equazioni di M-O: sostanzialmente questo caso può essere assimilato a quello di un terrapieno completamente immerso omogeneo, avente un peso specifico equivalente. Per calcolare la risultante delle spinte, si potrà operare come segue. Si definiscono i pesi specifici medi da associare rispettivamente alla componente efficace verticale ed alla componente laterale

$$\gamma_v^* = \left( \frac{h_w}{h} \right)^2 \cdot \gamma' + \left[ 1 - \left( \frac{h_w}{h} \right)^2 \right] \cdot \gamma_d$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 19 di 35	

$$\gamma_H^* = \begin{cases} \gamma_d & \text{se terreno din. permeabile} \\ \left(\frac{h_w}{h}\right)^2 \cdot \gamma_{sat} + \left[1 - \left(\frac{h_w}{h}\right)^2\right] \cdot \gamma_d & \text{se terreno din. impervio} \end{cases}$$

Definendo

$$\tan \theta = \frac{\gamma_H^* k_h}{\gamma_V^* 1 - k_v}$$

si applicheranno poi le relazioni precedentemente descritte.

Punto di applicazione delle spinte attive sismiche

Considerato che la spinta attiva complessiva è in generale composta da tre termini, occorre calcolare il punto di applicazione di ognuno di essi

1. Componente associata allo scheletro solido: è applicata come nel caso statico
2. Componente idrostatica: è applicata come nel caso statico
3. Componente idrodinamica (Ewd): se esiste, è applicata considerando la seguente distribuzione di pressioni:

$$qwd(z) = \pm \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{H \cdot z} \quad \text{con } z \text{ quota del generico punto rispetto la base della parete.}$$

### Spinte passive in condizioni sismiche

Si applicano in analogia le formulazioni descritte nel caso di spinta attiva.

Il coefficiente di spinta passiva è con la formula di Lancellotta (2006).

$$K_{p,E} = \left[ \frac{\cos \delta}{\cos(\beta - \theta) - \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2(\beta - \theta)}} \times \left( \cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2 \delta} \right) \right] \cdot e^{2\alpha \tan(\phi)}$$

$$2\alpha = \arcsin\left(\frac{\sin \delta}{\sin \phi}\right) + \arcsin\left(\frac{\sin(\beta - \theta)}{\sin \phi}\right) + \delta + (\beta - \theta) + 2\theta$$

NOTE:

- Nell'ambito dell'approccio 2 la spinta passiva è ridotta del coefficiente parziale  $\gamma_R = 1.4$  (R3)

 <b>IRICAV2</b>	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 20 di 35

## 11 SCARICHI A TESTA BASAMENTO

Le azioni agenti in testa al plinto di fondazione vengono fornite dalla analisi svolta sulla struttura in acciaio soprastante, nel seguito si riportano le azioni alla base derivanti dalla analisi e utilizzate per la verifica del basamento in C.A.. Nel seguito si riportano inoltre le combinazioni di carico utilizzate. Per ulteriori dettagli si rimanda alla documentazione prodotta da Saturno per l'intera linea.

### 11.1 Combinazioni di carico

#### Combinazione fondamentale SLU

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

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

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

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

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

**Combinazione frequente**, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{22} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

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

Di seguito riportiamo in forma tabellare i coefficienti parziali e di combinazione utilizzati nella determinazione delle combinazioni di carico agli SLU.

**Tabella 3 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU**

		<i>Coefficiente <math>g_f</math></i>	<i>EQU</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>
<i>Carichi permanenti G1</i>	<i>Favorevoli</i>	$g_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	<i>Sfavorevoli</i>		1,1	1,3	1,0
<i>Carichi permanenti non strutturali G2</i>	<i>Favorevoli</i>	$g_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	<i>Sfavorevoli</i>		1,5	1,5	1,3
<i>Carichi variabili Q</i>	<i>Favorevoli</i>	$g_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	<i>Sfavorevoli</i>		1,5	1,5	1,3

**Tabella 4 - Valori dei coefficienti di combinazione**

	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria E biblioteche, archivi, magazzini...	1,00	0,90	0,80
Vento	0,60	0,20	0,00

Si è ritenuto di utilizzare il seguente approccio progettuale:

- Approccio 2 in combinazione 2 del tipo (A1+M1+R3).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 21 di 35

In questo approccio progettuale si considerano i coefficienti parziali di tipo A1 per la determinazione delle azioni di progetto e quelli di sicurezza agenti sulle proprietà geotecniche dei materiali di tipo M1 ed R3 per la determinazione della resistenza di progetto.

## 11.2 Azioni di progetto

### CARICHI ALLA BASE

#### **CASO DI CARICO A**

Cmb	Azione X	Azione Y	Azione Z	Azione RX	Azione RY
	daN	daN	daN	daN cm	daN cm
1	0	728	931.80	0	0

#### **CASO DI CARICO B**

##### **Combinazioni SLU**

Cmb	Azione X	Azione Y	Azione Z	Azione RX	Azione RY
	daN	daN	daN	daN cm	daN cm
1	0	910	1164.75	0	0

#### **CASO DI CARICO D**

##### **Combinazioni SLU**

Cmb	Azione X	Azione Y	Azione Z	Azione RX	Azione RY
	daN	daN	daN	daN cm	daN cm
1	0	1141.4	1460.93	0	0

#### **CASO DI CARICO G**

Cmb	Azione X	Azione Y	Azione Z	Azione RX	Azione RY
	daN	daN	daN	daN cm	daN cm
1	0	910	1164.75	0	0

#### **CASO DI CARICO F**

Cmb	Azione X	Azione Y	Azione Z	Azione RX	Azione RY
	daN	daN	daN	daN cm	daN cm
1	0	4875	6239.72	0	0

## 12 ANALISI STRUTTURALE

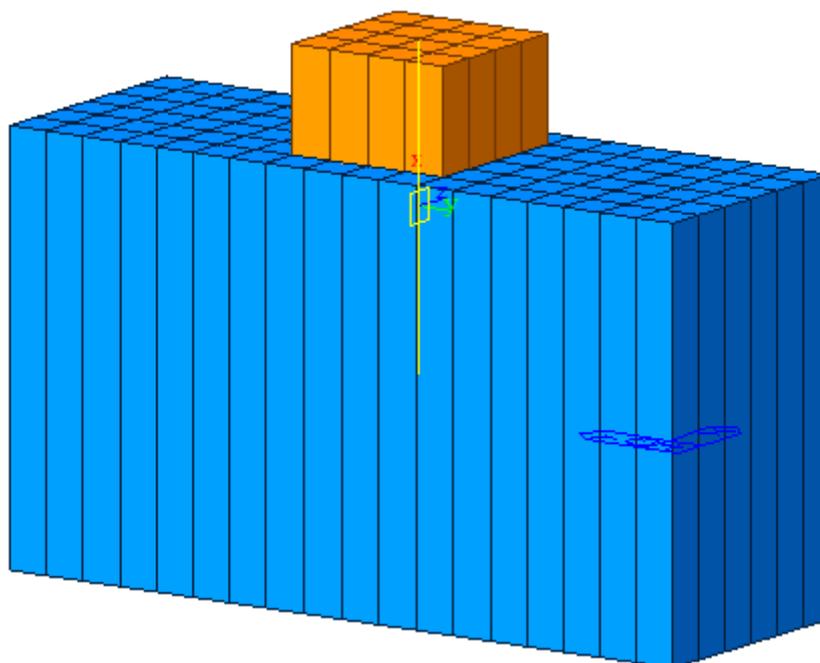
L'analisi per valutare il comportamento degli elementi strutturali previsti a progetto è stata eseguita sviluppando un modello ad elementi finiti tridimensionale con il software di calcolo MIDAS GEN. Sono stati utilizzati elementi di tipo bidimensionali "plate". Nel seguito sono mostrate le caratteristiche del modello di calcolo (i.e. geometria, vincoli e azioni interne / pressioni al suolo). La geometria rispecchia quella descritta nell'elaborato grafico di progetto. I vincoli applicati sono rigidi in direzione orizzontali, mentre nella direzione verticale l'interazione suolo – struttura viene modellato per mezzo di un suolo alla Winkler, ovvero tramite molle lineari reagenti alla sola compressione. La rigidità in termini di costante di sottofondo è determinata in accordo a valori caratteristici in accordo con la Teoria e tecnica delle strutture di Pietro Pozzati – rif Tabella 5.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 22 di 35

La rigidità delle molle viene assunta, coerentemente con le caratteristiche del terreno, pari a 30000kN/mc. Lo scarico della struttura in elevazione è applicato mediante un link rigido in modo da considerare i trasporti delle azioni.

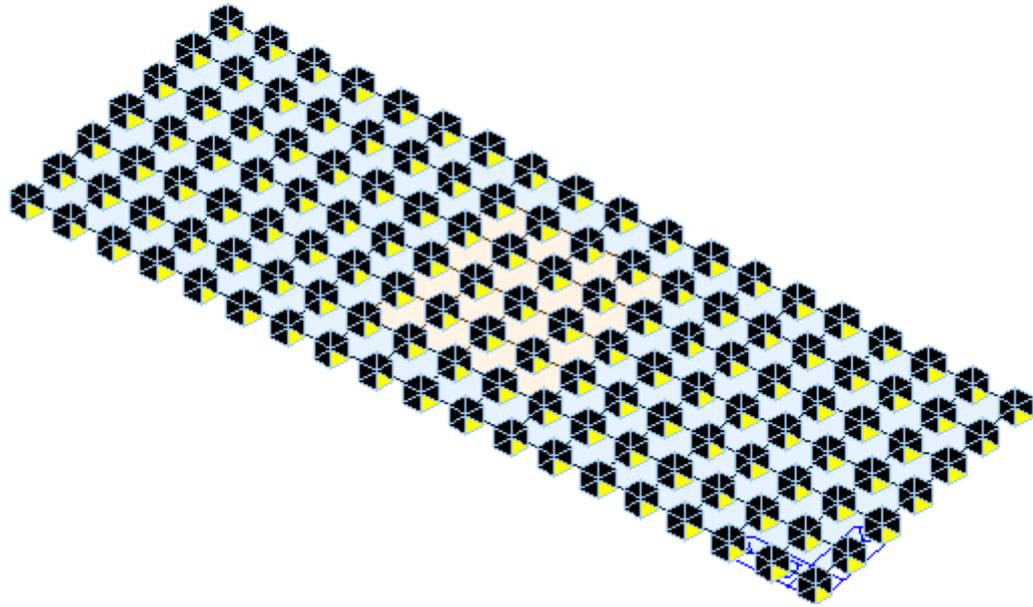
TERRENO	COSTANTE DI SOTTOFONDO [Kg/cm <sup>3</sup> ]
Torba leggera	0.6 ~1.2
Torba pesante	1.2 ~1.8
Terra vegetale	1.0 ~1.5
Depositi recenti	1.0 ~2.0
Sabbia di mare fina	1.5 ~2.0
Sabbia poco coerente	2.0 ~4.0
Terra molto umida	2.0 ~3.5
Terra poco umida	3.0 ~6.0
Terra secca	5.0 ~10.0
Argilla con sabbia	8.0 ~10.0
Argilla grassa	10.0 ~12.0
Sabbia compatta	8.0 ~15.0
Ghiaia con sabbia	10.0 ~25.0
Ghiaia compatta	20.0 ~30.0

Tabella 5: Valori di costante di sottofondo, Pozzati

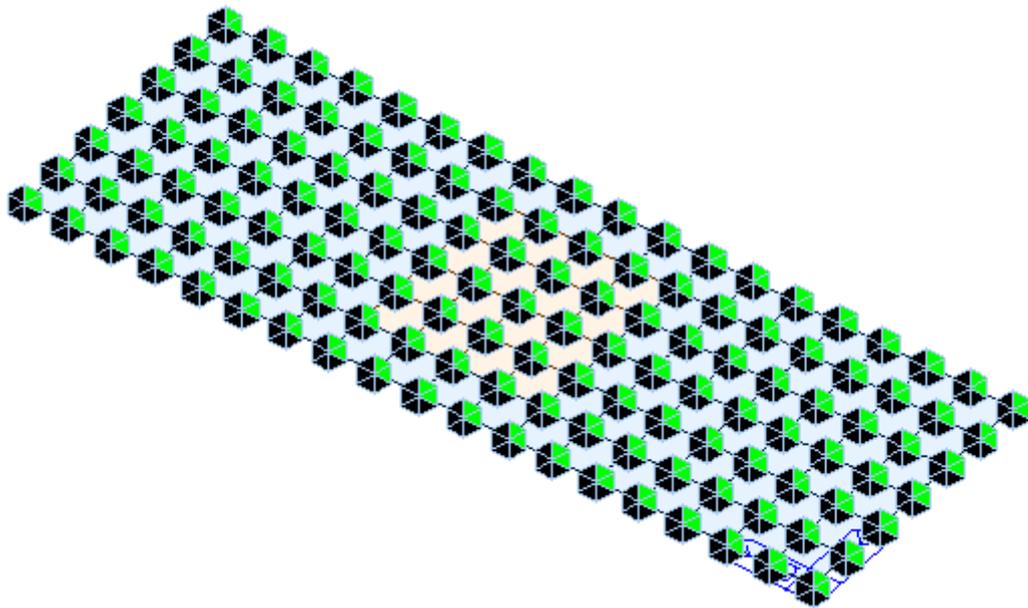


Vista modello FEM 3D

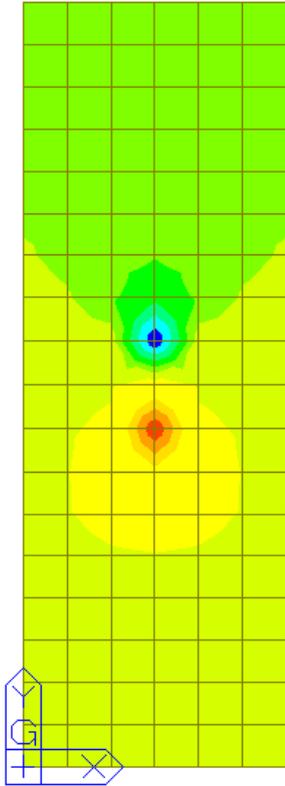
GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 23 di 35



*Vista modello FEM – molle lineari*



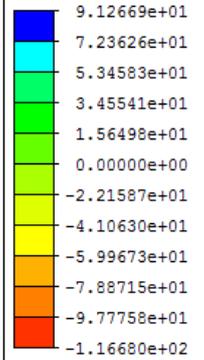
*Vista modello FEM – vincoli fissi nelle direzioni orizzontali*



midas Gen  
POST-PROCESSOR

PLATE FORCE

MOMENT-Mxx



CBCALL: ENVE  
AVG NODAL

MAX : 83  
MIN : 47

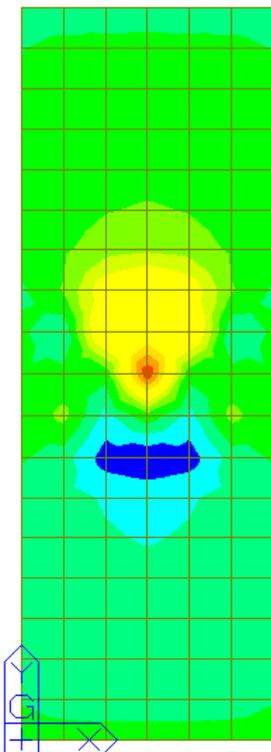
FILE: NUOVO - MOL-  
UNIT: kN\*m/m  
DATE: 04/27/2022

VIEW-DIRECTION

X: 0.000  
Y: 0.000  
Z: 1.000



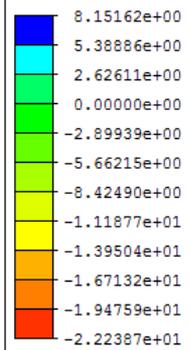
**Inviluppo combinazioni SLU – Azione flettente Mxx (inviluppo in valore assoluto)**



midas Gen  
POST-PROCESSOR

PLATE FORCE

MOMENT-Myy



CBCALL: ENVE  
AVG NODAL

MAX : 33  
MIN : 47

FILE: NUOVO - MOL-  
UNIT: kN\*m/m  
DATE: 04/27/2022

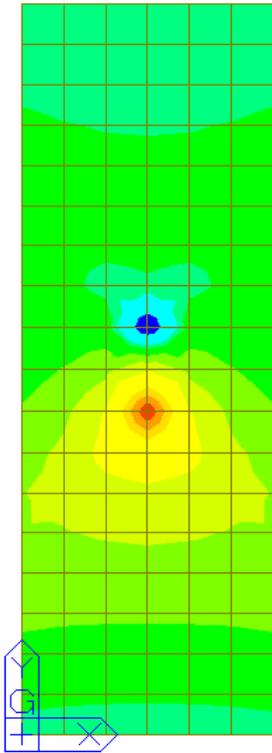
VIEW-DIRECTION

X: 0.000  
Y: 0.000  
Z: 1.000



GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 25 di 35

**Inviluppo combinazioni SLU – Azione flettente Myy (inviluppo in valore assoluto)**



midas Gen  
POST-PROCESSOR  


---

PLATE FORCE  


---

SHEAR-Vxx

3.21627e+01
1.91873e+01
0.00000e+00
-6.76337e+00
-1.97387e+01
-3.27141e+01
-4.56894e+01
-5.86648e+01
-7.16401e+01
-8.46155e+01
-9.75909e+01
-1.10566e+02

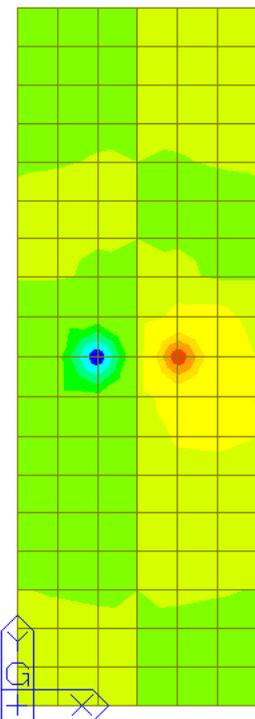
CBCALL: ENVE  
AVG NODAL

MAX : 83  
MIN : 47

FILE: NUOVO - MOL~  
UNIT: kN/m  
DATE: 04/27/2022

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 0.000  
Z: 1.000

**Inviluppo combinazioni SLU – Azione tagliante Vxx (inviluppo in valore assoluto)**



midas Gen  
POST-PROCESSOR  


---

PLATE FORCE  


---

SHEAR-Vyy

6.53138e+01
5.34386e+01
4.15634e+01
2.96881e+01
1.78129e+01
0.00000e+00
-5.93762e+00
-1.78129e+01
-2.96881e+01
-4.15634e+01
-5.34386e+01
-6.53138e+01

CBCALL: ENVE  
AVG NODAL

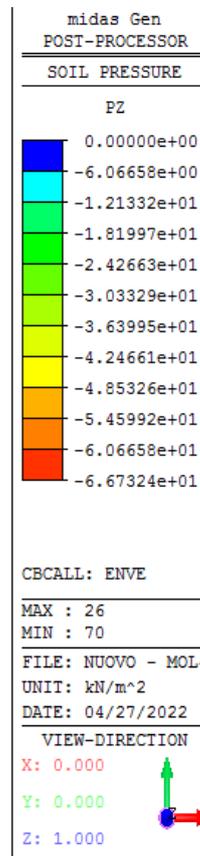
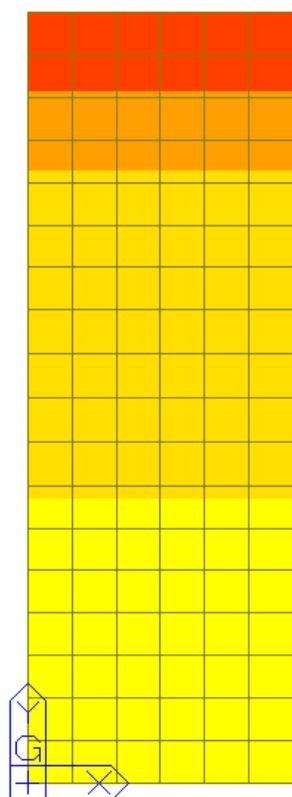
MAX : 103  
MIN : 47

FILE: NUOVO - MOL~  
UNIT: kN/m  
DATE: 04/27/2022

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 0.000  
Z: 1.000

**Inviluppo combinazioni SLU – Azione tagliante Vyy (inviluppo in valore assoluto)**

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 26 di 35



*Inviluppo combinazioni SLU – Massima pressione al suolo*

## 13 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 13.1 Sollecitazioni intradosso fondazione

Di seguito si riassumono per ciascuna combinazione di carico le sollecitazioni ad estradosso fondazione. Si rimanda ai documenti emessi da Saturno per l'intera tratta per la identificazione delle singole combinazioni di carico.

Cmb	Azione X	Azione Y	Azione Z	Azione RX	Azione RY
Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)
	kN	kN	kN	kNm	kNm
carico A	-	7.28	9.32	-	-
carico B SLU	-	9.10	11.65	-	-
carico D SLU	-	11.41	14.61	-	-
carico G	-	9.10	11.65	-	-
carico F	-	48.75	62.40	-	-

Nella tabella seguente sono riportate le azioni ad intradosso fondazione includendo il peso del plinto di fondazione e i vari contributi di trasporto

 <b>IFICAV2</b>	 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
GENERAL CONTRACTOR	ALTA SORVEGLIANZA
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17    Lotto 10    Codifica Documento E12CLOC000007    Rev. B    Foglio 27 di 35

	N	M <sub>B</sub>	M <sub>L</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>L</sub>
carico A	206.81	-	18.20	-	7.28
carico A	206.81	-	18.20	-	7.28
carico F	153.73	-	121.88	-	48.75
carico A	206.81	-	18.20	-	7.28
carico F	153.73	-	121.88	-	48.75
carico A	206.81	-	18.20	-	7.28
carico A	206.81	-	18.20	-	7.28
carico A	206.81	-	18.20	-	7.28
carico A	206.81	-	18.20	-	7.28
carico A	206.81	-	18.20	-	7.28

### 13.2 Verifica di capacità portante e scorrimento

Nel seguito sono riassunte le condizioni più gravose che agiscono sul plinto di fondazione desunte dalla tabella riportata in precedenza

Carico	Load	N (kN)	M <sub>B</sub> (kNm)	M <sub>L</sub> (kNm)	T <sub>B</sub> (kN)	T <sub>L</sub> (kN)
Carico A	1	206.81	-	18.20	-	7.28
Carico F	2	153.73	-	121.88	-	48.75

Le verifiche sono state condotte in condizioni drenate e non drenate sia per la capacità portate che per lo scorrimento.

Nella valutazione della resistenza limite in condizioni drenate si trascura il termine funzione della coesione. Il termine R<sub>d</sub> di confronto – riferito alla capacità portante e alla resistenza allo scorrimento - è ridotto secondo il fattore γ<sub>R</sub> di normativa; la verifica è soddisfatta se rispetta la disuguaglianza.

#### LOAD 1

Parametri geotecnici					COEFFICIENTI RIDUTTIVI DA NORMATIA			
c <sub>u,k</sub>	φ' <sub>k</sub>	γ	γ <sub>1</sub>	c <sub>k</sub>	M		R	
[kPa]	[°]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	γ <sub>φ</sub>	γ <sub>c'k</sub>	γ <sub>cp</sub>	γ <sub>s</sub>
70	28	19	19	5	1	1	2.3	1.1
Sollecitazioni agenti								
N	M <sub>B</sub>	M <sub>L</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>L</sub>		q	A'	
[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]		[kN]	[m <sup>2</sup> ]	
206.81	0.00	18.20	0.00	7.28		28.5	3.99	
Geometria della fondazione								
B	L	D	e <sub>B</sub>	e <sub>L</sub>	B'	L'	z <sub>w</sub>	γ <sub>2</sub>
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]
1.20	3.5	1.5	0.00	0.09	1.20	3.32	0.00	9.00

**Parametri sismici**

$a_{max}/g$	$S_s$	$S_t$	$\beta_m$	$K_h$
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
0.173	1.45	1.0	0.31	0.078

**VERIFICA DI BREVE TERMINE - CONDIZIONI NON DRENATE - SISMA**

$c_{u,d}$	$s_{cB}$	$s_{cL}$	$i_{cB}$	$i_{cL}$	mB	mL	Nc
[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
70.0	1.072	1.072	1.000	0.994	1.735	1.265	5.14

**CAPACITA' PORTANTE - dir B**

qlim [kPa]	176.01
Rd [kN]	702.1
Rd/N	3.39

**CAPACITA' PORTANTE - dir L**

qlim	174.96
Rd	697.9
Rd/N	3.37

**VERIFICA DI LUNGO TERMINE - CONDIZIONI DRENATE - SISMA**

zq	z $\gamma$	zc	kh
[-]	[-]	[-]	[-]
0.854	0.854	0.975	0.078

$\varphi'_d$	Nq	N $\gamma$	sq	s $\gamma$	$i_{q,B}$	$i_{\gamma,B}$	$i_{q,L}$	$i_{\gamma,L}$
[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
28.0	14.7	10.94	1.192	0.856	1.000	1.000	0.962	0.934

**CAPACITA' PORTANTE - dir B**

qlim [kPa]	204.47
Rd [kN]	815.6
Rd/N	3.94

**CAPACITA' PORTANTE - dir L**

qlim [kPa]	196.25
Rd [kN]	782.7985
Rd/N	3.79

**SCORRIMENTO**

	$c_{u,d}$	B'	L'	Rd	T	
	[kPa]	[m]	[m]	[kN]	kN	
B	70.0	1.20	3.32	253.8	0.0	OK
L				253.8	7.28	OK



Verifica scorrimento			OK
Ntan $\phi'$	Ntan $\phi'/T_B$	Ntan $\phi'/T_L$	
[kPa]	[-]	[-]	
100		14	

## LOAD 2

Parametri geotecnici					COEFFICIENTI RIDUTTIVI DA NORMATIA			
$c_{u,k}$	$\phi'_k$	$\gamma$	$\gamma_1$	$c_k$	M		R	
[kPa]	[°]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	$\gamma_\phi$	$\gamma_{ck}$	$\gamma_{cp}$	$\gamma_s$
70	28	19	19	5	1	1	2.3	1.1

Sollecitazioni agenti					q		A'	
N	M <sub>B</sub>	M <sub>L</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>L</sub>	[kN]	[m <sup>2</sup> ]		
[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]	[m <sup>2</sup> ]		
153.73	0.00	121.88	0.00	48.75	28.5	2.30		

Geometria della fondazione								
B	L	D	e <sub>B</sub>	e <sub>L</sub>	B'	L'	zw	$\gamma_2$
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]
1.20	3.5	1.5	0.00	0.79	1.20	1.91	0.00	9.00

Parametri sismici				
a <sub>max</sub> /g	S <sub>s</sub>	S <sub>t</sub>	$\beta_m$	K <sub>h</sub>
[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
0.173	1.45	1.0	0.31	0.078

## VERIFICA DI BREVE TERMINE - CONDIZIONI NON DRENATE - SISMA

$c_{u,d}$	S <sub>CB</sub>	S <sub>CL</sub>	i <sub>CB</sub>	i <sub>CL</sub>	m <sub>B</sub>	m <sub>L</sub>	N <sub>c</sub>
[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
70.0	1.125	1.125	1.000	0.918	1.615	1.385	5.14

CAPACITA' PORTANTE - dir B		CAPACITA' PORTANTE - dir L	
q <sub>lim</sub> [kPa]	184.12	q <sub>lim</sub>	170.09
R <sub>d</sub> [kN]	423.0	R <sub>d</sub>	390.8
R <sub>d</sub> /N	2.75	R <sub>d</sub> /N	2.54



### VERIFICA DI LUNGO TERMINE - CONDIZIONI DRENATE - SISMA

zq	zγ	zc	kh
[-]	[-]	[-]	[-]
0.854	0.854	0.975	0.078

$\varphi'_d$	Nq	Nγ	sq	sγ	$i_{q,B}$	$i_{\gamma,B}$	$i_{q,L}$	$i_{\gamma,L}$
[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
28.0	14.7	10.94	1.333	0.749	1.000	1.000	0.637	0.460

#### CAPACITA' PORTANTE - dir B

qlim [kPa]	224.15
Rd [kN]	514.9
Rd/N	3.35

#### CAPACITA' PORTANTE - dir L

qlim [kPa]	139.83
Rd [kN]	321.2182
Rd/N	2.09

### SCORRIMENTO

$c_{u,d}$	B'	L'	Rd	T	
[kPa]	[m]	[m]	[kN]	kN	
B 70.0	1.20	1.91	146.2	0.0	OK
L			146.2	48.75	OK

#### Verifica scorrimento

Ntanφ'	Ntanφ'/T <sub>B</sub>	Ntanφ'/T <sub>L</sub>	
[kPa]	[-]	[-]	
74		2	OK

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>		ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 31 di 35

### 13.3 Verifiche al ribaltamento

Nel seguito sono riportate le verifiche all'equilibrio limite di ribaltamento per la condizioni di carico più gravosa

	<b>Mrib</b>	<b>Mstab</b>	
<b>Contributo TIRANTE- N</b>	120.1		
<b>Contributo TIRANTE H</b>	134.1		
<b>Contributo PLINTO</b>		330.8	
<b>Contributo BAGGIOLO</b>		9.6	
	254.2	340.4	Rib. OK
			Eres/Eed= 1.34

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  <b>IRICAV2</b>		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO		Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 32 di 35

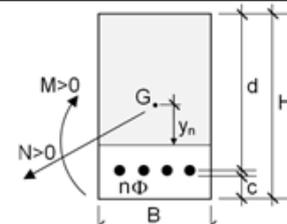
## 14 VERIFICHE STRUTTURALI

Il basamento è armato con 6 barre  $\phi 12$  superiori ed inferiori in direzione longitudinale (direzione y) e anche in senso trasversale (direzione x). Nel seguito si mostrano le verifiche a flessione e taglio lungo le due direzioni. In favore di sicurezza si adotta l'altezza minore del plinto, ovvero non si considera l'altezza del basamento di ancoraggio al palo. Per le verifiche allo SLE si adottano, visto il basso stato tensionale, le stesse sollecitazioni allo SLU:

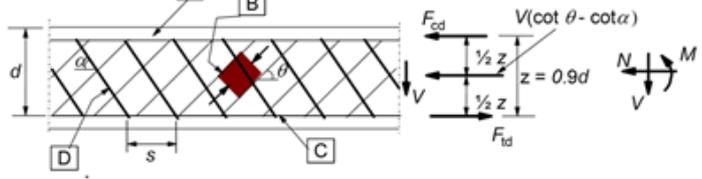
### M<sub>x</sub>

geometria					sollecitazioni e risultati			
sezione trasversale					SLE		SLU	
B	H	c	d	z	M <sub>Ek</sub>	N <sub>Ek</sub>	M <sub>Ed</sub>	N <sub>Ed</sub>
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]
100	200	10.4	189.0	170.1	116.70	0	151.71	
armatura longitudinale					tensioni e fessure			
n <sub>barre</sub>	$\phi$	d	A <sub>sl</sub>		M <sub>dec</sub>	M <sub>cr</sub>		
	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]		[kNm]	[kNm]		
4	12	10.6	4.52		0.0	1442.6		
4	12	189.0	4.52					
armatura a taglio					presso-flessione			
nbracci	$\phi$	s	$\alpha$	A <sub>sw</sub>	M <sub>Rd</sub>	FS		
	[mm]	[cm]	[°]	[cm <sup>2</sup> ]	[kNm]			
6	14	20	90	9.24				
					taglio			
					V <sub>Rdc</sub>	non serve armatura a taglio		
					V <sub>Rds</sub>	V <sub>Rdmax</sub>	$\theta$	
					[kN]	[kN]	[°]	
					sezione duttile			
					ai	189.0 [cm]		

materiali				legenda	
calcestruzzo		acciaio			
R <sub>ck</sub>	30 [MPa]	f <sub>yk</sub>	450 [MPa]	d	riferito all'asse barra
f <sub>ck</sub>	24.9 [MPa]	$\gamma_s$	1.15	c	copriferro netto
$\gamma_c$	1.5	f <sub>yd</sub>	391.3 [MPa]	M	>0, se tese fibre inferiori
$\alpha_{cc}$	0.85	E <sub>s</sub>	200000 [MPa]	N	>0, se di trazione
f <sub>cd</sub>	14.1 [MPa]	$\epsilon_{uk}$	75 [‰]	V	in valore assoluto
$\nu$	0.540				
$\epsilon_{c2}$	2.0 [‰]				
$\epsilon_{cu2}$	3.5 [‰]				
$\alpha_e$	15.0				
k <sub>t</sub>	0.4				
k <sub>1</sub>	0.8				
k <sub>3</sub>	3.4				
k <sub>4</sub>	0.425				
		valori limite			
		0,55 f <sub>ck</sub>	13.7 [MPa]		
		0,75 f <sub>yk</sub>	337.5 [MPa]		
		W <sub>k,lim</sub>	0.2 [mm]		



d riferito all'asse barra  
c copriferro netto  
M >0, se tese fibre inferiori  
N >0, se di trazione  
V in valore assoluto



[A] - compression chord, [B] - struts, [C] - tensile chord, [D] - shear reinforcement

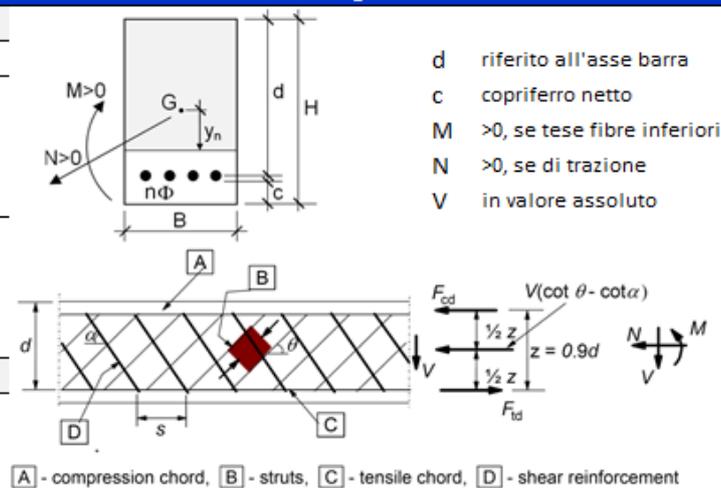
**My**

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
<b>100</b>	<b>200</b>	10.4	189.0	170.1
armatura longitudinale				
nbarre	$\phi$	d	$A_{sl}$	
	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]	
<b>4</b>	<b>12</b>	<b>11.8</b>	4.52	
<b>4</b>	<b>12</b>	<b>188.2</b>	4.52	
armatura a taglio				
nbracci	$\phi$	s	$\alpha$	$A_{sw}$
	[mm]	[cm]	[°]	[cm <sup>2</sup> ]
<b>6</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>90</b>	9.24

sollecitazioni e risultati	
SLE	SLU
$M_{Ek}$	<b>22.30</b> [kNm]
$N_{Ek}$	<b>0</b> [kN]
$M_{Ed}$	<b>28.99</b> [kNm]
$N_{Ed}$	[kN]
$V_{Ed}$	<b>110.60</b> [kN]
tensioni e fessure	
$M_{dec}$	0.0 [kNm]
$M_{cr}$	<b>1442.6</b> [kNm]
$y_n$	-84.84 [cm]
$\sigma_{c,min}$	-0.8 [MPa]
$\sigma_{s,min}$	-3.7 [MPa]
$\sigma_{s,max}$	<b>140.3</b> [MPa]
$k_2$	0.5
$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	- [%]
$s_{r,max}$	- [cm]
$W_k$	- [mm]
presso-flessione	
$M_{Rd}$	347.8 [kNm]
FS	2.29
taglio	
$V_{Rdc}$	503.6 [kN]
<b>non serve armatura a taglio</b>	
$V_{Rds}$	5324.1 [kN]
$V_{Rdmax}$	5614.6 [kN]
$\theta$	30.0 [°]
sezione duttile	
ai	189.0 [cm]

materiali	
calcestruzzo	acciaio
$R_{ck}$	<b>30</b> [MPa]
$f_{ck}$	24.9 [MPa]
$\gamma_c$	<b>1.5</b>
$\alpha_{cc}$	<b>0.85</b>
$f_{cd}$	14.1 [MPa]
$\nu$	0.540
$\epsilon_{c2}$	<b>2.0</b> [%]
$\epsilon_{cu2}$	<b>3.5</b> [%]
$\alpha_e$	<b>15.0</b>
$k_t$	<b>0.4</b>
$k_1$	<b>0.8</b>
$k_3$	<b>3.4</b>
$k_4$	<b>0.425</b>
$f_{yk}$	<b>450</b> [MPa]
$\gamma_s$	<b>1.15</b>
$f_{yd}$	391.3 [MPa]
$E_s$	<b>200000</b> [MPa]
$\epsilon_{uk}$	<b>75</b> [%]
valori limite	
	0,55 $f_{ck}$ 13.7 [MPa]
	0,75 $f_{yk}$ 337.5 [MPa]
	$W_{k,lim}$ <b>0.2</b> [mm]

## legenda



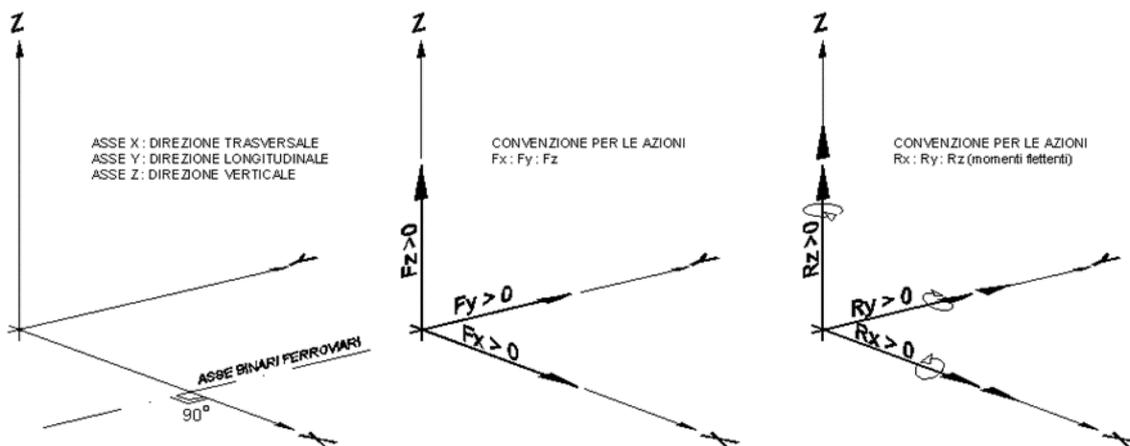
GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
FASE PV.1A - RELAZIONE DI CALCOLO BASAMENTI TTC- INTEGRATIVO	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12CLOC000007	Rev. B	Foglio 34 di 35

#### 14.1 Verifica del basamento di ancoraggio del palo

Si effettuano le verifiche strutturali della sezione in testa del plinto di fondazione facendo riferimento alle combinazioni di carico espresse al Cap.11. Si precisa che le sollecitazioni indicate al Cap. 11 sono pertinenti alla sezione alla base del palo, pertanto, si trasporta il momento sollecitante alla sezione di verifica allo spiccato del baggiolo:

$$M_{base\ del\ collo} = M_{testa} + T \cdot braccio;$$

Per il baggiolo oggetto di studio il braccio di trasporto risulta pari a 50 cm; si effettuano le verifiche rispetto all'asse debole e all'asse forte della sezione di calcolo.



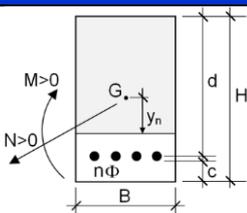
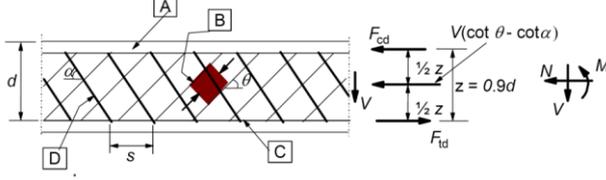
**Sistema di riferimento considerato per la sezione**

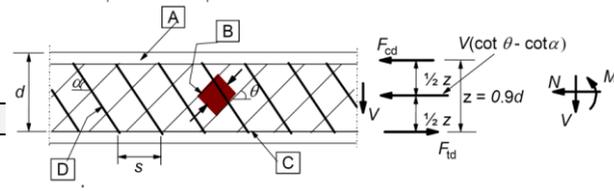
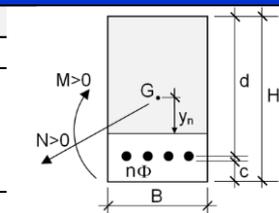
La sezione di calcolo ha dimensioni 80x80cm ed è armata a flessione con 12Φ18. A taglio si considerano delle staffe Φ12 con spaziatura pari a 30 cm. Il copriferro netto è assunto pari a 4cm.

**ASSE YY**

geometria				
sezione trasversale				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
<b>80</b>	<b>80</b>	5,2	73,9	66,5
armatura longitudinale				
nbarre	$\phi$	d	$A_{sl}$	
	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]	
<b>4</b>	<b>18</b>	<b>6,1</b>	10,18	
<b>4</b>	<b>18,0</b>	<b>73,9</b>	10,18	
armatura a taglio				
nbracci	$\phi$	s	$\alpha$	$A_{sw}$
	[mm]	[cm]	[°]	[cm <sup>2</sup> ]
<b>2</b>	<b>12</b>	<b>30</b>	<b>90</b>	2,26

sollecitazioni e risultati	
SLE	SLU
$M_{Ek}$ <b>3,64</b> [kNm]	$M_{Ed}$ <b>24,38</b> [kNm]
$N_{Ek}$ <b>9,32</b> [kN]	$N_{Ed}$ <b>62,4</b> [kN]
tensioni e fessure	
$M_{dec}$ - [kNm]	
$M_{cr}$ 198,1 [kNm]	
$y_n$ -35,26 [cm]	
$\sigma_{c,min}$ 0,0 [MPa]	
$\sigma_{s,min}$ 0,2 [MPa]	
$\sigma_{s,max}$ 9,8 [MPa]	
$k_2$ 0,5	
$\varepsilon_{sm-\varepsilon_{cm}}$ - [%]	
$S_{r,max}$ - [cm]	
$w_k$ - [mm]	
	$M_{Rd}$ 267,5 [kNm]
	FS 10,97
taglio	
	$V_{Rdc}$ 184,9 [kN]
	<b>non serve armatura a taglio</b>
	$V_{Rds}$ 339,9 [kN]
	$V_{Rdmax}$ 1756,3 [kN]
	$\theta$ 30,0 [°]
sezione duttile	
	al 73,9 [cm]

materiali		legenda	
calcestruzzo	acciaio		
$R_{ck}$ <b>30</b> [MPa]	$f_{yk}$ <b>450</b> [MPa]		d riferito all'asse barra
$f_{ck}$ 24,9 [MPa]	$\gamma_s$ <b>1,15</b>		c copriferro netto
$\gamma_c$ <b>1,5</b>	$f_{yd}$ 391,3 [MPa]		M >0, se tese fibre inferiori
$\alpha_{cc}$ <b>0,85</b>	$E_s$ <b>210000</b> [MPa]		N >0, se di trazione
$f_{cd}$ 14,1 [MPa]	$\varepsilon_{uk}$ <b>75</b> [%]		V in valore assoluto
$\nu$ 0,540			
$\varepsilon_{c2}$ <b>2,0</b> [%]			
$\varepsilon_{cu2}$ <b>3,5</b> [%]			
$\alpha_e$ <b>15,0</b>			
$k_t$ <b>0,4</b>			
$k_1$ <b>0,8</b>			
$k_3$ <b>3,4</b>			
$k_4$ <b>0,425</b>			
valori limite			
	0,55 $f_{ck}$ 13,7 [MPa]		
	0,75 $f_{yk}$ 337,5 [MPa]		
	$w_{k,lim}$ <b>0,2</b> [mm]		



[A] - compression chord, [B] - struts, [C] - tensile chord, [D] - shear reinforcement