

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI  
PROGETTO DEFINITIVO**

**INTERCONNESSIONE DI NOVI LIGURE ALTERNATIVA ALLO SHUNT  
BARRIERE ANTIRUMORE NUOVA INTERCONNESSIONE LINEA STORICA  
DA PK 106+689 A PK 113+687.220**

**Fondazioni B.A. portale in c.a. continuo lato piazza -AREA 5 - Relazione di  
calcolo**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. E. Pagani		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A 3 0 1	0 0	D	C V	C L	B A V C 0 0	0 1 1	B

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	CCR Ing.	27/07/15	COCIV	29/07/15	A. Mancarella	30/07/04	
B00	Rev. prot. 0002131/CTVA M.A.T.T.	AIE	27/07/16	COCIV	27/07/16	A. Mancarella	27/07/16	

n. Elab.:	File: A301-00-D-CV-CL-BAVC-00-011-B00
-----------	---------------------------------------

CUP: F81H92000000008



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A301-00-D-CV-CL-BAVC-00-011-B00</p>	<p>Foglio 3 di 48</p>

## INDICE

INDICE.....		3
1. INTRODUZIONE.....		4
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....		6
2.1. Normativa tecnica vigente .....		6
3. METODO DI CALCOLO.....		8
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI.....		8
4.1. Calcestruzzo Per Le Strutture.....		8
4.2. Acciaio Per Le Strutture In Cemento Armato .....		9
5. PARAMETRI GEOTECNICI TERRENO .....		10
6. INDIVIDUAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO .....		10
7. MODELLAZIONE.....		11
8. ANALISI DEI CARICHI.....		12
8.1. Condizioni elementari di carico.....		12
8.2. Combinazioni di carico .....		12
8.3. Definizione dei carichi .....		13
8.4. grafici esplicativi dei carichi .....		17
9. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO E MODELLAZIONE SISMICA.....		20
9.1. Azione sismica .....		20
10. VERIFICHE GEOTECNICHE E SLU PALI Ø 600 E MICROPALI.....		21
10.1. Sollecitazioni .....		22
10.2. Portanza carichi verticali.....		24
10.3. Calcolo del Momento di Plasticizzazione.....		25
10.4. Calcolo del Carico Limite Orizzontale .....		26
10.5. Sollecitazioni lungo il Palo .....		27
11. VERIFICHE STRUTTURALI .....		34
11.1. Verifiche Trave di Fondazione.....		34
11.2. Verifiche Trave in Elevazione .....		37
11.3. Verifiche Setti.....		43
11.4. INCIDENZA ARMATURE .....		48

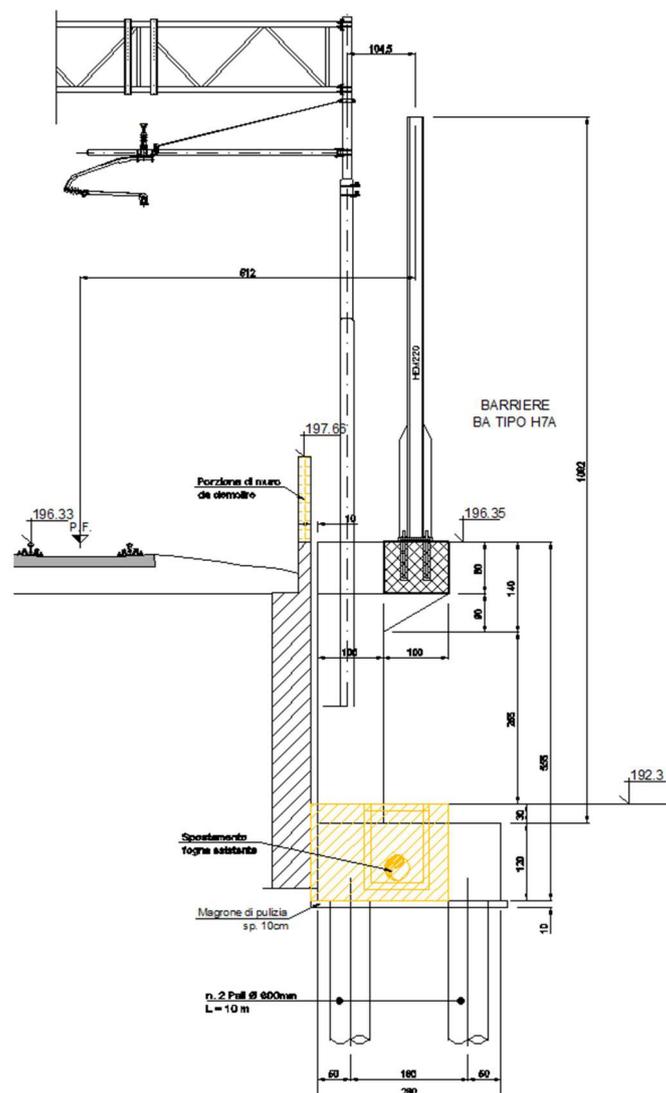
## 1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è il calcolo e la verifica delle strutture di fondazione BA con setti su pali, da realizzare sulla tratta ferroviaria Milano-Genova, in corrispondenza del comune di Novi Ligure, per l'installazione delle Barriere Antirumore.

Tale tipologia strutturale prevede l'installazione delle barriere antirumore su una trave in c.a. 1,00x0,80m, poggiante a sua volta su setti 0,80x1,00m aventi interasse massimo di 7,75 m. Tali pilastri si innestano su sole di fondazione di sezione 1,20x1,20m, ciascuna avente 2 pali Ø600mm ad interasse di 1,80m.

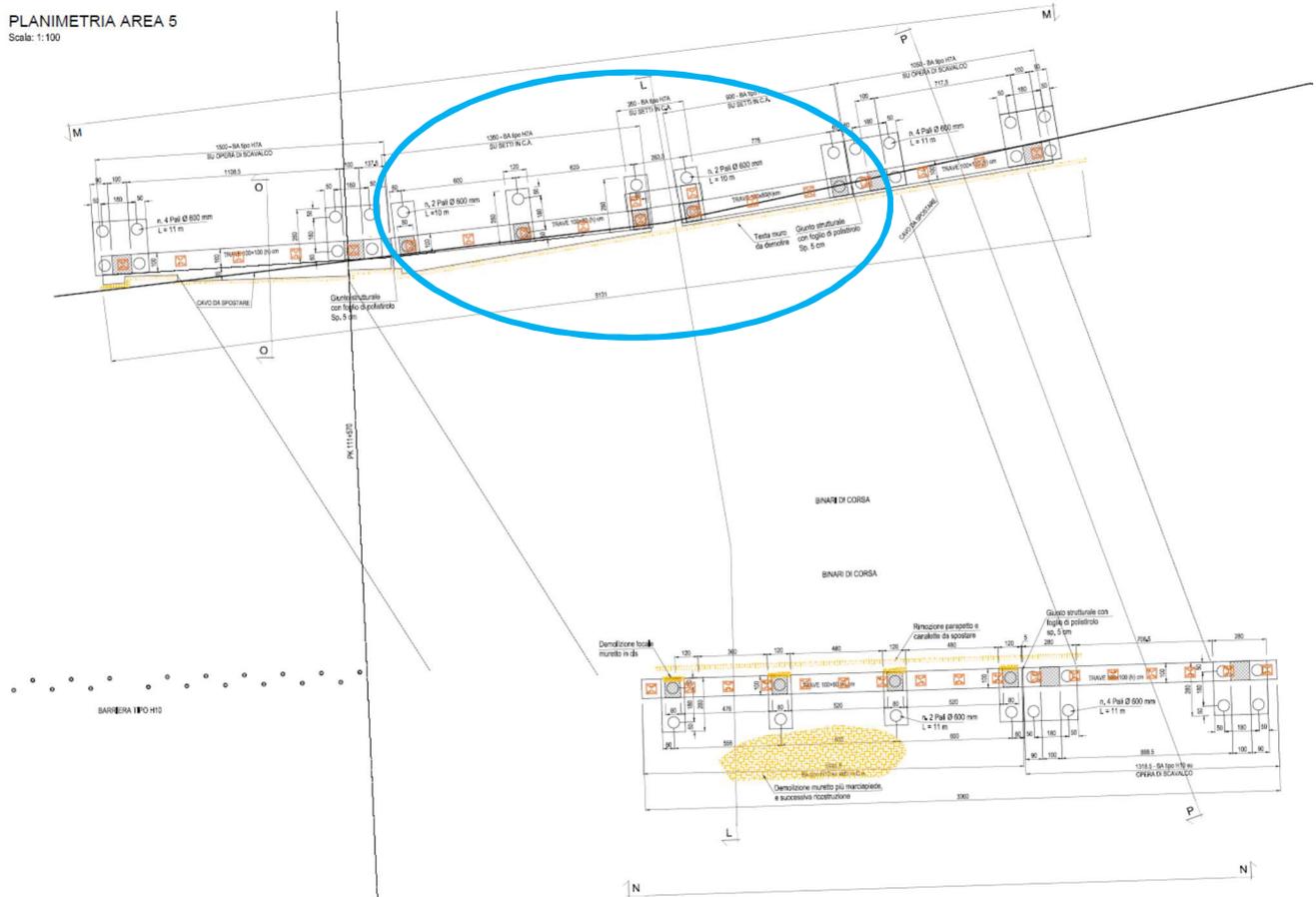
Le suddette strutture saranno realizzate nell'area d'intervento "5", compresa fra le Pk 111+558 e 111+616.

Al fine di identificare le strutture calcolate e verificate di seguito si riportano gli stralci degli elaborati grafici prodotti.



PLANIMETRIA AREA 5

Scala: 1:100



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-CL-BAVC-00-011-B00
	Foglio 6 di 48

## 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il progetto é redatto in conformità alle Normative e Leggi vigenti:

- [NT\_1]. D.M. 11.03.1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”
- [NT\_2]. Circ. Dir. Centr. Tecn. N°97/81 “Istruzioni relative alle Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegni delle terre e delle opere di fondazione”.
- [NT\_3]. D.M. 09.01.1996 “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento normale e precompresso e per le strutture metalliche”
- [NT\_4]. D.M. 16.01.1996 “Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi
- [NT\_5]. Circolare 156 del 04.07.1996 “Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”
- [NT\_6]. D.M. 04/05/1990: "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, la esecuzione e il collaudo dei ponti stradali".
- [NT\_7]. Ministero LL.PP. 25/02/1991: "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali".
- [NT\_8]. D.M. 16.01.1996 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”
- [NT\_9]. Ordinanza 3274 del 20/03/03 del Consiglio dei ministri – Allegato 1 – “Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – Individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone”
- [NT\_10]. Ordinanza 3274 del 20/03/03 del Consiglio dei ministri – Allegato 4 – “Norme Tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e sostegno dei terreni”
- [NT\_11]. Ordinanza n.3316 - Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.03
- [NT\_12]. Raccomandazioni AICAP “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce” ed. Maggio 1993.
- [NT\_13]. Istruzioni FF.SS. n°I/SC/PS-OM/2298 – “Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari – Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo.”
- [NT\_14]. Istruzioni FF.SS. 44a - “Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione l'esecuzione e il collaudo di cavalcavia e passerelle pedonali sovrastanti la sede ferroviaria”.
- [NT\_15]. Prescrizioni tecniche per la progettazione FF.SS. - “Manuale di progettazione - Corpo stradale”

### 2.1. NORMATIVA TECNICA VIGENTE

- [NT\_16]. Norma UNI EN 206-1:2006 “Calcestruzzo. Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità”
- [NT\_17]. UNI EN 197-1 giugno 2001 – “Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>A301-00-D-CV-CL-BAVC-00-011-B00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 7 di 48</p>

- [NT\_18]. UNI EN 11104 marzo 2004 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1
- [NT\_19]. Linee guida sul calcestruzzo strutturale - 5 aprile 2013- Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale
- [NT\_20]. UNI EN 1991-1-5:2004 “Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Azioni in generale – Azioni termiche”
- [NT\_21]. UNI EN 1992-1-1:1993 “Eurocodice2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-1 – Regole generali e regole per edifici”
- [NT\_22]. UNI EN 1993-1-1:2005 “Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1 – Regole generali e regole per edifici”
- [NT\_23]. UNI EN 1997-1:1997 “Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali”
- [NT\_24]. Raccomandazioni AICAP “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce” ed. giugno 2012.
- [NT\_25]. Raccomandazioni AGI “Raccomandazioni sui pali di fondazione” ed. dicembre 1984.
- [NT\_26]. Norma UNI EN 10025 – 2005 – “Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali
- [NT\_27]. DM 16 Gennaio 1996 – “Norme tecniche per le costruzioni”
- [NT\_28]. Istruzioni RFI - RFI/DTC/INC/PO/SP/IFS/001/A – 21 dicembre 2011 – “Specifiche per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario.”

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-CL-BAVC-00-011-B00
	Foglio 8 di 48

### 3. 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 e le azioni di calcolo sono stati assunti in conformità con il D.M. 16.01.96 – “Norme tecniche per le costruzioni”.

Le caratteristiche dei materiali sono state assunte 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.

### 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

Con riferimento alle normative citate le strutture sono state verificate adottando i seguenti parametri di resistenza dei materiali.

#### 4.1. CALCESTRUZZO PER LE STRUTTURE

##### ***CALCESTRUZZO FONDAZIONI CLASSE C25/30 ( $R_{ck} \geq 30 N/mm^2$ )***

Classe di esposizione: ..... XC2 ( UNI EN 206-1)

Copriferro nominale min. per strutture interrato = 30 mm (ricoprimento armature più esterne)

Classe di consistenza: ..... S3 (UNI EN 206-1)

Massima dimensione aggregati .....  $\leq 32$  mm

##### ***CALCESTRUZZO ELEVAZIONI CLASSE C32/40 ( $R_{ck} \geq 40 N/mm^2$ )***

Classe di esposizione: ..... XC4 (UNI EN 206-1)

Copriferro nominale min. per strutture in elevazione = 40 mm (ricoprimento armature più esterne)

Classe di consistenza: ..... S4 (UNI EN 206-1)

Massima dimensione aggregati .....  $\leq 32$  mm

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-CL-BAVC-00-011-B00	Foglio 9 di 48

### ***CALCESTRUZZO PER MAGRONI CLASSE C12/15 ( $R_{ck} \geq 15 \text{ N/MM}^2$ )***

Resistenza media .....  $\geq 15 \text{ N/mm}^2$

Contenuto minimo cemento: .....  $150 \text{ kg/m}^3$

### ***CALCESTRUZZO PALI CLASSE C25/30 ( $R_{ck} \geq 30 \text{ N/MM}^2$ )***

Classe di esposizione: ..... XC2 (UNI EN 206-1)

Copriferro nominale min. per strutture interrato = 60 mm

(nel caso di pali trivellati ) ..... 60 mm

Classe di consistenza: ..... S3÷S5 (UNI EN 206-1)

Massima dimensione aggregati .....  $\leq 32 \text{ mm}$

## **4.2. ACCIAIO PER LE STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO**

Per l'acciaio di armatura è stato utilizzato un acciaio B 450 C avente le seguenti caratteristiche.

$f_{y,k} = 450 \text{ MPa}$  (resistenza caratteristica di snervamento #11.3.2 – NTC08);

$f_{t,k} = 540 \text{ MPa}$  (resistenza caratteristica di rottura #11.3.2 – NTC08);

$\gamma_s = 1.15$  (coefficiente di sicurezza #4.1.2.1.1.3 – NTC08).

## 5. PARAMETRI GEOTECNICI TERRENO

Per le caratteristiche geo meccaniche del terreno si assumono i parametri dedotti dalla relazione geologica del Dott. Geologo Anselmi.

LITOLOGIA TRATTO A:

0,0 ÷ 5,00 Limo Argilloso debolmente sabbioso di colore rossiccio con abbondanti inclusi eterogenei a spigoli vivi ed arrotondati

5,00 Ghiaia eterogenea ed etero metrica da sub angolare a sub arrotondata in matrice limoso sabbiosa di colore nocciola

PARAMETRI GEOTECNICI:

Litologia	$\gamma$	C	$\phi$	E
	(t/m <sup>3</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(°)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Limo argilloso Debolmente sabbioso	1.8	0.2	25	200
Ghiaia	1.9	0.0	33	400
Argilla marnosa marne argillose	2.1	2.0	35	2000

## 6. INDIVIDUAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO

Norme C.N.R.-U.N.I 10024/86: informazioni sul codice di calcolo.

Codice DOLMENWIN, versione 14, prodotto, distribuito e assistito dalla Soc. CDM DOLMEN, con sede in Torino, via Drovetti 9/F.

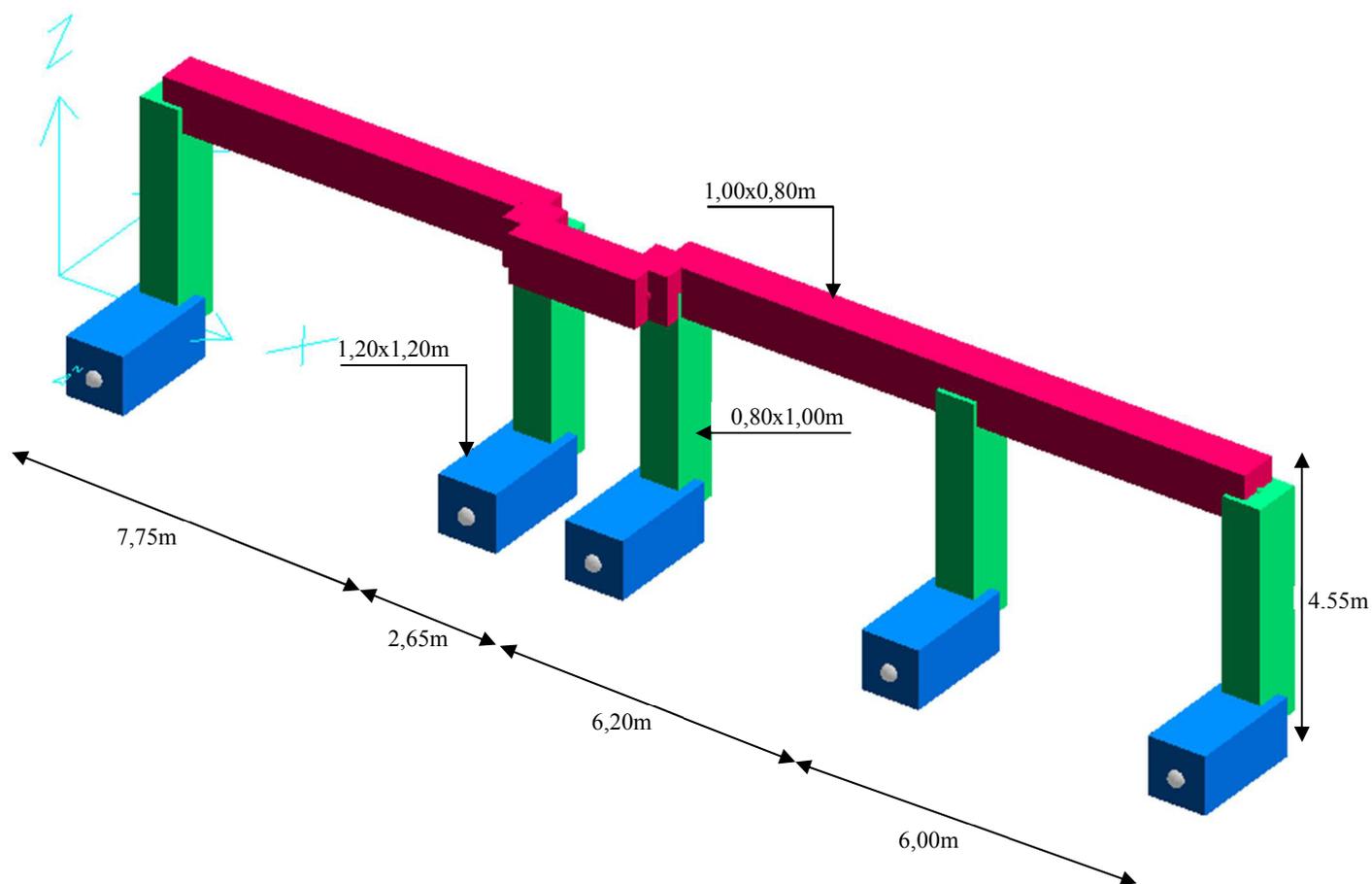
Il codice effettua l'analisi elastica lineare di strutture tridimensionali con nodi a sei gradi di libertà. Gli elementi considerati sono di tipo guscio, sia rettangolare che triangolare, aventi comportamento membrana e piastra. I carichi possono essere applicati sia ai nodi, come forze o coppie concentrate, sia sugli elementi guscio come carichi d'area. I vincoli esterni sono definiti da sei costanti di rigidezza elastica.

L'affidabilità del codice di calcolo è garantita dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto, che riporta, per una serie di strutture significative, i confronti tra le analisi effettuate con il codice e quelle effettuate con codici di confronto (HERCULES della Soc. SOCOTEC - Parigi). La presenza di un modulo CAD per l'introduzione dei dati permette la visualizzazione dettagliata degli elementi e dei carichi introdotti. E' possibile ottenere rappresentazioni grafiche di deformate, sollecitazioni e stati di tensione della struttura.

## 7. MODELLAZIONE

Il modello della struttura in oggetto è stato effettuato con elementi finiti monodimensionali (modello ad aste), ciascuno con la propria sezione reale.

### MODELLO IN 3D CON GLI ELEMENTI ESTRUSI



## 8. ANALISI DEI CARICHI

### 8.1. CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO

Nella seguente tabella si riportano le condizioni di carico analizzate nel modello F.E.M.

Nuova scheda		Modifica scheda		Duplica scheda		Elimina scheda	
Num.	Nome	Coeff.	N° carichi	Categoria in NTC2008	Categoria in norme preced		
<input type="radio"/> 001)	Peso_proprio_____	1	26	Peso proprio	Permanente		
<input type="radio"/> 002)	Pp_pannelli	1	4	Permanente	Permanente		
<input type="radio"/> 003)	Vento+Sovraspinta_Tr	1	8	A:Var abitazione	Var.abitazione		
<input type="radio"/> 004)	Sisma_X	1	17	Altro ...	Sisma X (stat. eq.)		
<input checked="" type="radio"/> 005)	Sisma_Y	1	21	Altro ...	Sisma Y (stat. eq.)		

### 8.2. COMBINAZIONI DI CARICO

NOME	DESCRIZIONE	VERIFICA	TIPO	CONDIZ. INSERITE			CASI INSERITI	
				Num.	Coeff.	Segno	Num.	Coeff.
1	1.4PP+1.4Pa+1.5S	S.L.U.	somma	1	1.400	+		
				2	1.400	+		
				3	1.500	±		
2	1.0PP+1.0Pa+1.5S	S.L.U.	somma	1	1.000	+		
				2	1.000	+		
				3	1.500	±		
3	SISMAX SLU	nessuna	somma	4	1.500	±		
4	SISMAY SLU	nessuna	somma	5	1.500	±		
5	SLU con SISMAX PRINC	S.L.U.	somma	1	1.000	+	c3	1.000
				2	1.000	+	c4	0.300
6	SLU con SISMAY PRINC	S.L.U.	somma	1	1.000	+	c4	1.000
				2	1.000	+	c3	0.300

#### Si riporta una breve descrizione dei casi di carico considerati:

**caso 1:** combinazione a Stato Limite Ultimo, che considera i pesi propri delle strutture, carichi permanenti dovuti al peso delle barriere ed i carichi variabili relativi al vento e alla sovraspinta dovuta al passaggio del treno, senza considerare l'azione del sisma;

**caso 2:** combinazione a Stato Limite Ultimo, che considera i pesi propri delle strutture, carichi permanenti dovuti al peso delle barriere considerate come carichi favorevoli ed i carichi variabili relativi al vento e alla sovraspinta dovuta al passaggio del treno, senza considerare l'azione del sisma;

**caso 3 e 4:** combinazioni delle azioni sismiche, utilizzate nei casi di carico sismici effettivi 4 e 5;

**caso 5 e 6:** combinazioni a Stato Limite Ultimo, che considerano i normali carichi (pesi propri, permanenti relativi alle barriere) e le azioni sismiche, con una direzione principale del sisma.

### 8.3. DEFINIZIONE DEI CARICHI

Di seguito vengono definiti tutti i carichi riportati al paragrafo precedente.

- **“Peso\_Proprio”**

Il peso proprio degli elementi in elevazione ed in fondazione si è ricavato direttamente dal programma di calcolo utilizzando un valore di peso specifico del cemento armato pari a:

$$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3.$$

Tutti i carichi definiti “peso proprio” partecipano al carico sismico come masse sismiche.

- **“Pp\_pannelli”**

In tale combinazione viene contemplato il peso dei pannelli sia in c.a. sia in acciaio delle barriere ed anche l'incidenza dei montanti costituiti da profili in acciaio.

Tali carichi sono stati desunti dai documenti sopra citati, di cui si riporta uno stralcio di seguito.

$$Pp_{\text{Pannelli acciaio}} = 50 \text{ daN/m}^2$$

$$Pp_{\text{Pannelli c.a.}} = 350 \text{ daN/m}^2$$

$$Pp_{\text{Profili}} = 20 \text{ daN/m}$$

In definitiva si sono desunti i pesi dei pannelli dall'elaborato fornito da COCIV e intitolato "Montanti Metallici per Barriere Antirumore" con codifica A301-00-D-CV-CL-BAVC00-00X-A.

Barriera	z [m]	N [kN]
H0	3.0	22.50
H1	3.5	23.25
H2	4.0	24.00
H3A	4.5	24.75
H4A	5.0	25.50
H5A	5.5	26.25
H6A	6.0	27.00
H7A	6.5	27.75
H8A	7.0	19.00
H9A	7.5	19.50
H10	8.0	20.00

*Estratto dalla relazione: Montanti Metallici per Barriere Antirumore*

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-CL-BAVC-00-011-B00	Foglio 14 di 48

Le considerazioni, i calcoli e le verifiche allegate di seguito risultano valide anche nel caso in cui i pannelli di acciaio vengano sostituiti con dei pannelli di vetro stratificato tipo 8+1.52+8 mm.

Tele sostituzione, infatti, non comporta aumenti di carico rispetto alle considerazioni citate sopra in quanto il peso dei paraventi in vetro risulta minore di quelli in acciaio come mostrato nei calcoli sotto riportati:

$$P_{P \text{ pannelli vetro}} = (0.008 + 0.008) \cdot 2700 = 43.2 \text{ daN/m}^2$$

$$P_{P \text{ pannelli vetro}} = 43.2 \text{ daN/m}^2 < P_{P \text{ pannelli acciaio}} = 50 \text{ daN/m}^2$$

- **“Azione del Vento”**

Il carico del vento secondo il D.M. 16-01-1996 è il seguente:

$p = q_{\text{ref}} \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d =$  pressione del vento

$$q_{\text{ref}} = v_{\text{ref}}^2 / 1.6 = 391 \text{ N/m}^2, \text{ pressione cinetica di riferimento}$$

$$v_{\text{ref}} = v_{\text{ref},0} = 25 \text{ m/s, per } a_s < a_0, \text{ velocità di riferimento del vento}$$

$$a_s = 200 \text{ m, altitudine sul livello del mare del sito}$$

Zona 1 (Piemonte,..)

$$v_{\text{ref},0} = 25 \text{ m/s; } a_0 = 1000 \text{ m; } a_s < a_0$$

$$\left. \begin{aligned} C_e(z) &= k_r^2 \cdot C_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot a [7 + C_t \cdot \ln(z/z_0)] \text{ per } z \geq z_{\text{min}} \\ C_e(z) &= C_e(z_{\text{min}}) \text{ per } z < z_{\text{min}} \end{aligned} \right\} \text{ Coefficiente di esposizione}$$

Classe di rugosità del terreno C, Aree con ostacoli diffusi

Categoria III, sito distante oltre 30 Km dalla costa, altitudine <500m

$$k_r = 0.20, \quad z_0 = 0.10 \text{ m}, \quad z_{\text{min}} = 5.00 \text{ m}, \quad z = 6.00 \text{ m}$$

$$z = z_{\text{min}}$$

Calcolo coefficiente di topografia

$$C_t = 1 + \beta \gamma [1 - 0.1(x/H)]$$

$$\beta = 0.5 \text{ per } z/H \leq 0.75$$

$$\beta = 0.8 - 0.4(z/H) \text{ per } 0.75 < z/H \leq 2$$

$$\beta = 0 \text{ per } z/H > 2$$

$$\gamma = 0 \text{ per } H/D \leq 0.10$$

$$\gamma = 1/0.20(H/D - 0.10) \text{ per } 0.10 < H/D \leq 0.30$$

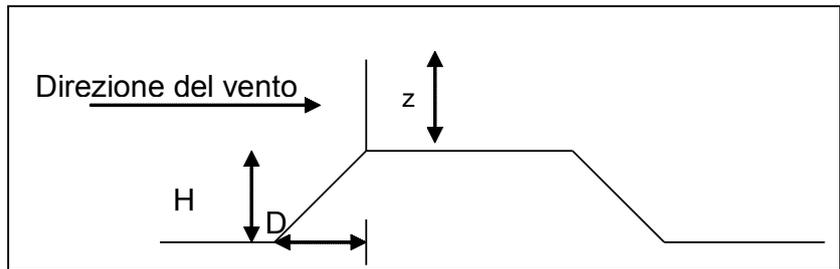
$$\gamma = 1 \text{ per } H/D > 0.30$$

$x$ , distanza tra ciglio rilevato e barriera

$H$ , altezza rilevato

$D$ , larghezza scarpata

$z$ , altezza barriera



Ipotizzando le condizioni peggiori

( $H=8\text{m}$ ,  $D=12\text{m}$ ,  $x=0$ ,  $z=6.00\text{m}$ ), si ottiene:

$$z/H = 0.75 \quad \rightarrow \beta = 0.5$$

$$H/D = 0.66 \quad \rightarrow \gamma = 1$$

Quindi

$$C_t = 1.5$$

$$C_e = 3.23$$

$C_p = 1.2$  coefficiente di forma per pensiline con  $\alpha > 35^\circ$

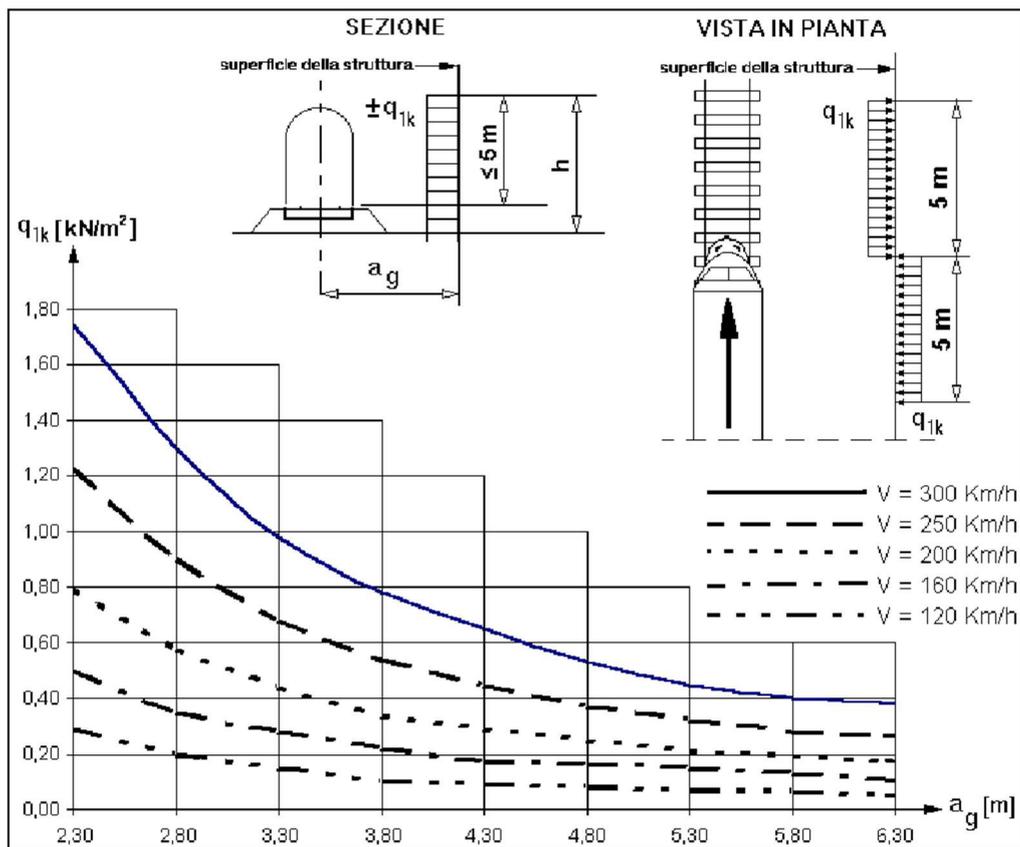
$$C_d = 1.0$$

$$p = q_{\text{ref}} \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 391 \cdot 3.57 \cdot 1.2 \cdot 1 = 1675 \text{ N/m}^2$$

- “Sovrappinta\_Treno”

In tale combinazione viene contemplata l'azione di sovrappinta dovuta al passaggio del treno, considerando una velocità massima dei convogli di 160 km/h.

L'effetto aerodinamico associato al passaggio del convoglio ferroviario è stato valutato ipotizzando la situazione più gravosa possibile, facendo riferimento alla seguente figura ricavata dall'istruzione FS “Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari”.



Valori caratteristici delle azioni  $q_{1k}$  per superfici verticali parallele al binario

$$q_{1k} = f(a_g, v) = 0.20 \text{ kN/m}^2 \text{ per treni aerodinamici ETR}$$

$$a_g = 4.30 \text{ m, distanza asse binario-barriera minima}$$

$$v = 160 \text{ Km/h, velocità massima per treni aerodinamici ETR,}$$

$$p_a = q_{1k} \times k_1 = 0.20 \text{ kN/m}^2 \text{ per treni aerodinamici ETR}$$

$$k_1 = 1.00 \text{ per treni aerodinamici ETR,}$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A301-00-D-CV-CL-BAVC-00-011-B00	Foglio 17 di 48

- **Vento + sovraspinta treno**

La velocità del treno nel tratto considerato è  $V_{\max} \leq 160$  km/h. L'azione orizzontale da applicare alle barriere antirumore, sia per le verifiche statiche che per le verifiche a deformazione, verrà assunta come valore statico pari al massimo tra  $1.50 \text{ kN/m}^2$  e la somma dell'azione dovuta al vento e agli effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari.

$$q_h = p + p_{a,\max} = 1.675 + 0.20 = 1.875 \text{ kN/m}^2$$

La pressione che si assume per le verifica statiche e di deformazione sarà pari a **1.90 kN/m<sup>2</sup>**.

- **Carichi sismici**

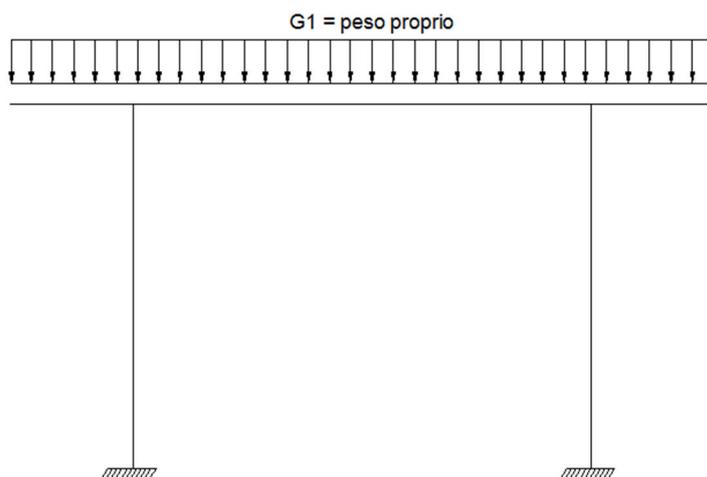
Vedi **Capitolo 9 - Pericolosità sismica di base del sito e modellazione sismica**

#### **8.4. GRAFICI ESPLICATIVI DEI CARICHI**

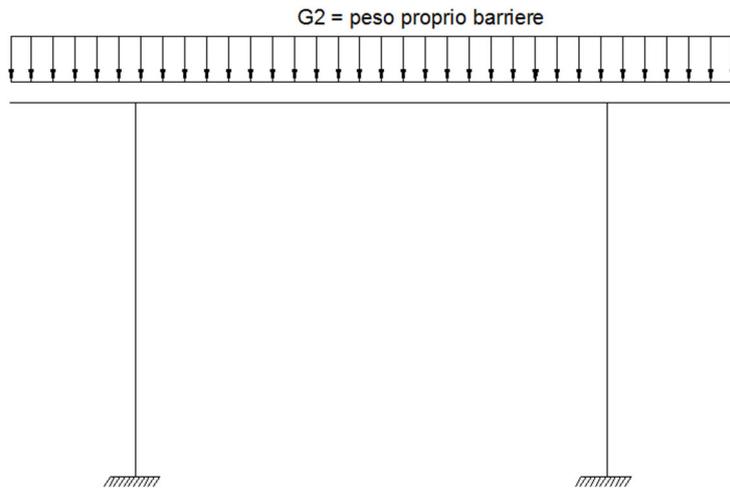
Per semplicità si fa riferimento allo schema di carico di una sola campata.

- **Peso proprio**

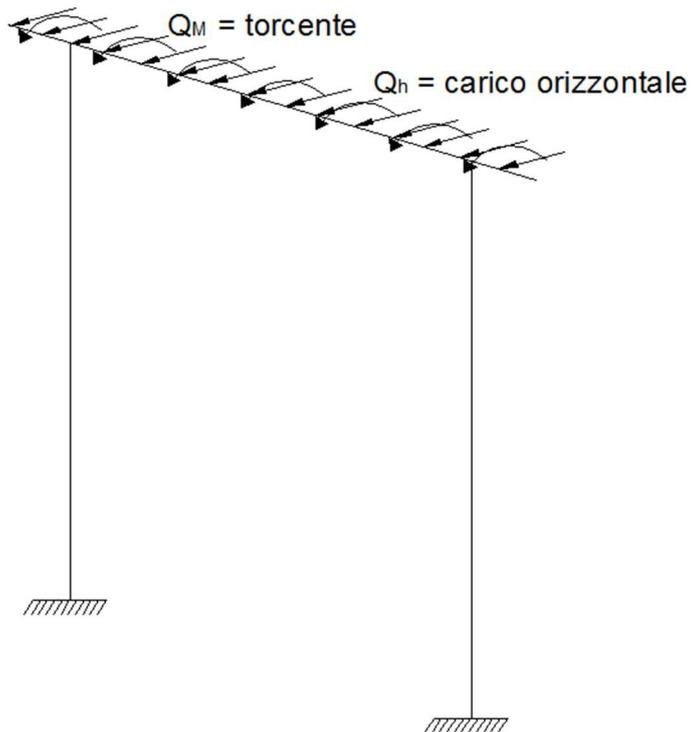
Il peso proprio è stato attribuito a tutti gli elementi in c.a.



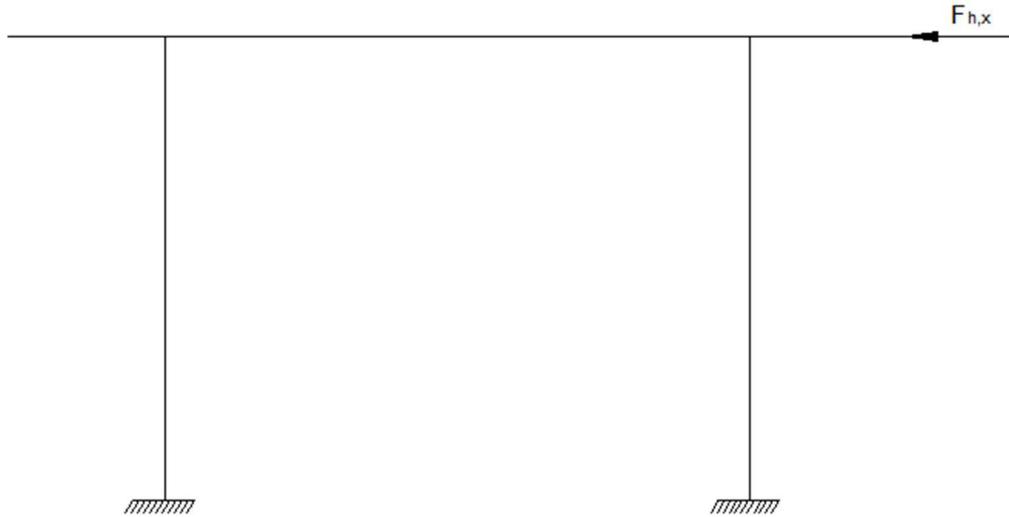
- Peso proprio pannelli



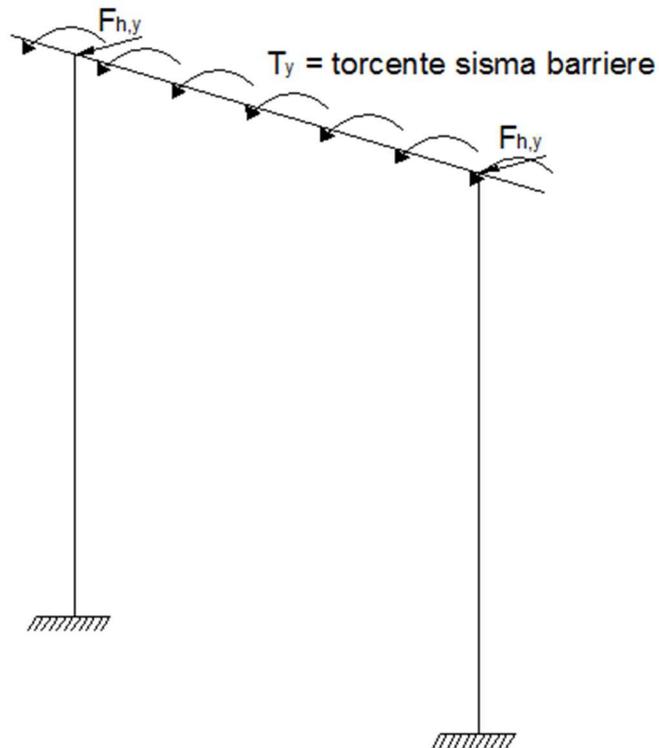
- Vento + sovraspinta treno



- sisma x



- sisma y



## 9. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO E MODELLAZIONE SISMICA

### 9.1. AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche sono state considerate tramite un'analisi statica con i parametri di seguito esposti.

$$F_h = C \cdot R \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot I \cdot W$$

dove:

$$C = \frac{S-2}{100} = 0,04$$

Coefficiente di intensità sismica

$$S = 6$$

Grado di sismicità

$$R = 1$$

Coefficiente di risposta relativo alla direzione considerata

$$I = 1,2$$

Coefficiente di protezione sismica

$$\varepsilon = 1.3$$

Coefficiente di fondazione

$$\beta = 1$$

Coefficiente di struttura

$$W = P_{\text{proprio}} + \text{Permanenti} = 137824 + 25210 = 163034 \text{ daN} \quad \text{Peso complessivo delle masse sismiche}$$

$$F_h = 0,0624 \cdot 163034 = 1173 \text{ daN}$$

Per il sisma in direzione Y si è calcolato il momento torcente dovuto all'effetto del sisma sulla barriera.

Barriere H10

$$W_{\text{barriera}} = 1113 \text{ daN/m}$$

$$F_{h,y} = W \cdot K_h = 1113 \cdot 0.0624 = 69.5 \text{ daN/m}$$

$$M_t = F_{h,y} \cdot (H_{\text{bar}} + (H_{\text{trave}}/2)) / 2 = 69.5 \cdot (8 + 0.4) / 2 = 292 \text{ daNm/m}$$

## 10. VERIFICHE GEOTECNICHE E SLU PALI Ø 600 E MICROPALI

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche di portata verticale condotte sui pali Ø600 .

Tali verifiche sono state eseguite seguendo l'Approccio 2 (A1+M1+R2), secondo quanto previsto dall' UNI EN 1997 "Eurocodice 7".

Si considerano pertanto le combinazioni dei carichi a SLU (A1) e i parametri geotecnici ridotti dei coefficienti  $\gamma_M$  dell'insieme M1, visibili nei prospetti A.3 e A.4 dell'Eurocodice 7 riportati sotto.

prospetto A.3 Coefficienti parziali sulle azioni ( $\gamma_F$ ) o sugli effetti delle azioni ( $\gamma_E$ )

Azione		Simbolo	Insieme	
			A1	A2
Permanente	Sfavorevole	$\gamma_G$	1,35	1,0
	Favorevole		1,0	1,0
Variabile	Sfavorevole	$\gamma_Q$	1,5	1,3
	Favorevole		0	0

prospetto A.4 Coefficienti parziali sui parametri del terreno ( $\gamma_M$ )

Parametro del terreno	Simbolo	Insieme	
		M1	M2
Angolo di resistenza al taglio <sup>a)</sup>	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza al taglio non drenata	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Resistenza non confinata	$\gamma_{qu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

a) Questo coefficiente si applica a  $\tan \varphi'$ .

I valori di calcolo della resistenza si ottengono a partire dai valori caratteristici applicando i coefficienti parziali  $\gamma_R$  del prospetto A.7 dell' UNI EN 1997 "Eurocodice 7" qui di seguito riportato:

prospetto A.7 Coefficienti parziali sulla resistenza ( $\gamma_R$ ) per pali trivellati

Resistenza	Simbolo	Insieme			
		R1	R2	R3	R4
Base	$\gamma_b$	1,25	1,1	1,0	1,6
Laterale (compressione)	$\gamma_s$	1,0	1,1	1,0	1,3
Totale/combinata (compressione)	$\gamma_t$	1,15	1,1	1,0	1,5
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,15	1,1	1,6

La resistenza caratteristica è ottenuta con metodo empirico che prevede l'utilizzo dei risultati di prove in sito applicando alle resistenze i fattori di correlazione  $\xi$  deducibili nel prospetto A.10 qui di seguito riportato:

prospetto A.10 **Fattori di correlazione  $\xi$  per ricavare i valori caratteristici da risultati di prove sul sottosuolo ( $n$  - numero di profili di prova)**

$\xi$ per $n =$	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_{S3}$	1,40	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25
$\xi_{S4}$	1,40	1,27	1,23	1,20	1,15	1,12	1,08

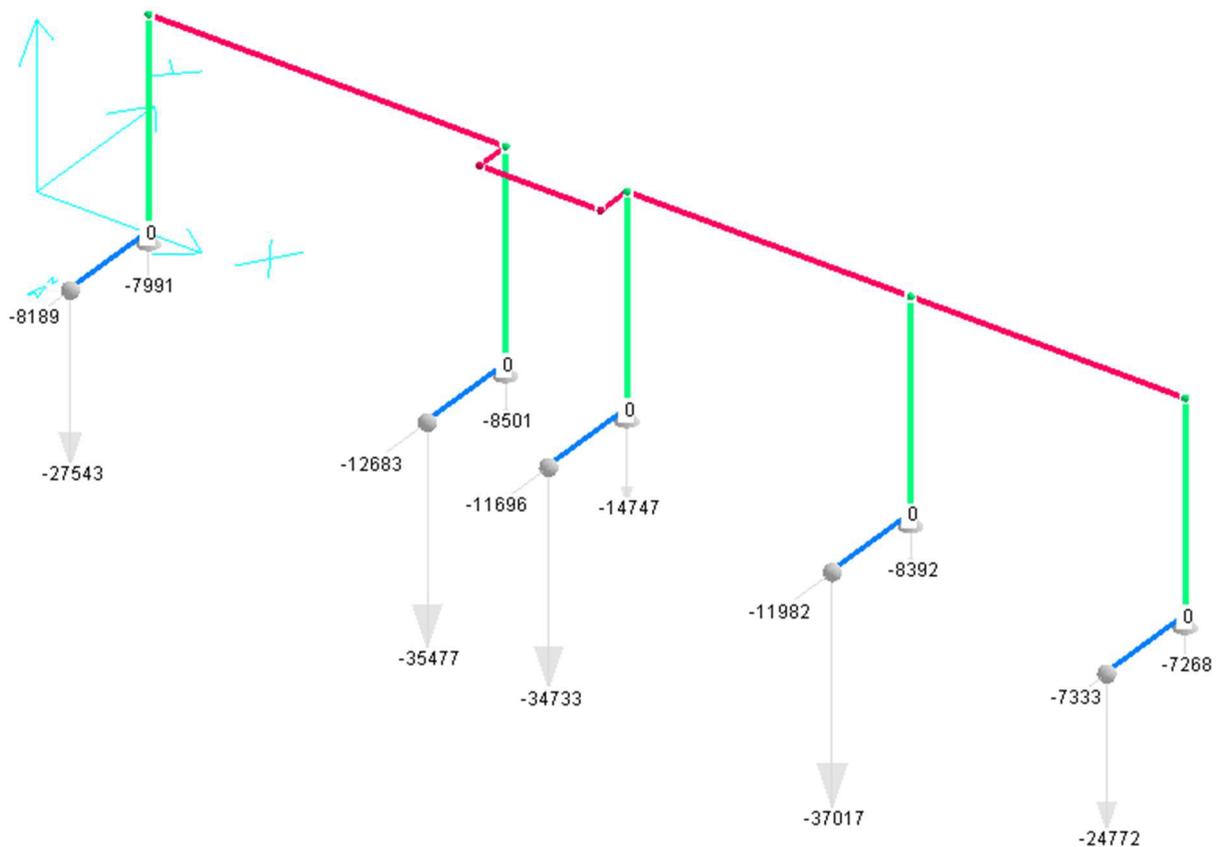
I valori delle capacità portante di calcolo andranno confrontati con il massimo valore del carico verticale di calcolo sollecitante.

$$N_{Rd} > N_{Sd}$$

### 10.1. SOLLECITAZIONI

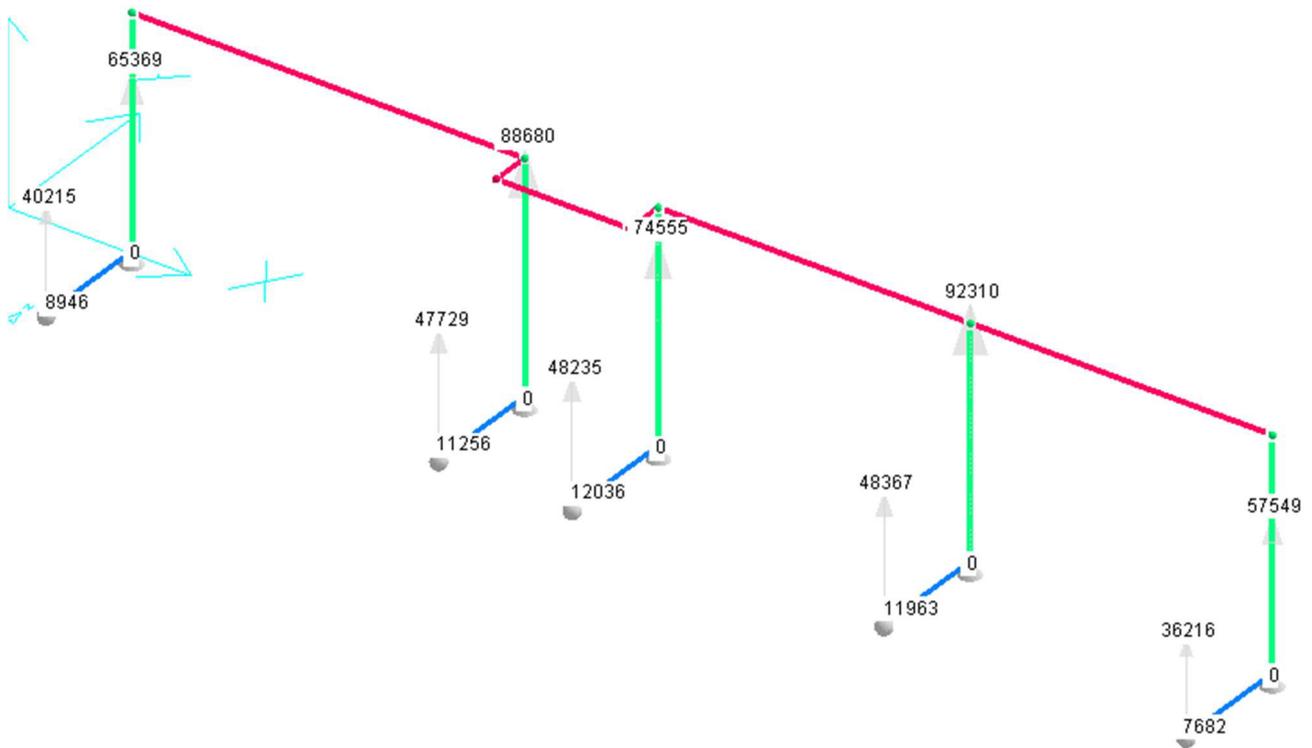
Si riportano le reazioni alla testa dei pali del MODELLO 1, poiché quello con luce più ampia e quindi maggiormente sollecitati. Tali reazioni sono calcolate per i casi di carico n. 1, 2, 5 e 6.

#### Reazioni minime



$$N_{Sd,min} = 370 \text{ kN (trazione)} \quad ; \quad H_{Sd} = 127/2\text{pali} = 63.5 \text{ kN (taglio orizzontale)}$$

#### Reazioni massime


 $N_{Sd,max} = 923 \text{ kN (compression)}$ 

;

 $H_{Sd} = 120 / 2\text{pali} = 60 \text{ kN (taglio orizzontale)}$

## 10.2. PORTANZA CARICHI VERTICALI

Il dimensionamento dei pali trivellati  $\Phi 600$  è stato eseguito tenendo conto delle sollecitazioni massime riferite a tutti i modelli sopra riportati. In particolare:

$N_{Sd,max} = 923$  kN (compressione)

$N_{Sd,max} = 370$  kN (trazione)

### PORTANZA PER CARICHI VERTICALI DEI PALI TRIVELLATI (Teoria di Berezantzev)

Riferimento: **Pali Fondaz. L = 10m d = 0.6m**

Lunghezza palo	m	10.00
Diametro palo	m	0.60
Peso del palo: $P_g$	daN	7'065

STRATIGRAFIA:

	tipologia:	denominazione
strato 1	coerente n. cons./misti	Limo sabbioso
strato 2	incoerente denso	Ghiaia
strato 3	incoerente sciolto	0
strato 4	coerente precon. (Cu)	0
strato 5	incoerente sciolto	0

Pressione $q_z$ alla quota di testa del palo	daN/m <sup>2</sup>	2'700
--	--------------------	-------

PORTANZA LATERALE:  $PL = A_l * (s_o + k * \mu * q_z)$

		strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
lunghezza	m	3.5	6.5	0	0	0
densità	daN/m <sup>3</sup>	1800	1900	0	0	0
Angolo Attrito	(°)	25.0	33.0	0.0	0.0	0.0
Coesione	daN/cm <sup>2</sup>	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
$s_o$	daN/cm <sup>2</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$k$		0.578	0.400	0.500	0.000	0.500
$\mu$		0.466	0.649	0.000	0.000	0.000
$q_z$	daN/m <sup>2</sup>	5850	15175	21350	21350	21350
Portanza laterale	daN	10'390	48'242	0	0	0
<b>PORTANZA LATERALE LIMITE: PL</b>					<b>58'632daN</b>	
<b>PORTANZA LATERALE: <math>PL_c = PL / (1.1 * 1.25)</math></b>					<b>42'641daN</b>	

PORTANZA ALLA PUNTA:  $PP = A_p * (N_c * C + N_q * q_z)$  (Teoria di Berezantzev)

Strato 2	Ghiaia	
densità	daN/m <sup>3</sup>	1900
Ang. Attrito	(°)	33.0
Coesione	daN/cm <sup>2</sup>	0
$N_q$		26.8
$N_c$		39.8
$q_z$	daN/m <sup>2</sup>	21350
<b>PORTANZA ALLA PUNTA LIMITE: PP</b>		<b>161'698daN</b>
<b>PORTANZA ALLA PUNTA: <math>PP_c = PP / (1.1 * 1.25)</math></b>		<b>117'599daN</b>

<b>PORTANZA TOTALE TERRENO IN COMPRES.: <math>P_{tot} = PL_c + PP_c</math></b>	<b>160'240daN</b>
--	-------------------

<b>CARICO MAX IN COMPRES. SUL PALO: <math>P_{c,comp} = P_{tot} - P_g</math></b>	<b>153'175daN</b>
<b>CARICO MAX IN TRAZIONE SUL PALO: <math>P_{c,traz} = P_g + PL_c / (1.15 * 1.25)</math></b>	<b>47'852daN</b>

$$N_{Rd,max} = 1532 \text{ kN} > N_{Sd,max} = 923 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,min} = 478 \text{ kN} > N_{Sd,min} = 370 \text{ kN}$$

### 10.3. CALCOLO DEL MOMENTO DI PLASTICIZZAZIONE

#### Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro = 600 (mm)

Raggio = 300 (mm)

Sforzo Normale = -923 (kN)

#### Caratteristiche dei Materiali

##### calcestruzzo

$R_{ck} = 30$  (N/mm<sup>2</sup>)

$\lambda_{m,c} = 2.1$

$\eta_{\chi} = \epsilon = 0.85$

$f_{cd} = R_{ck} / \lambda_c = 14.22$  (N/mm<sup>2</sup>)

##### Acciaio

tipo di acciaio B450C ▼

$f_{yk} = 450$  (N/mm<sup>2</sup>)

$\lambda_E = 1.00$

$\lambda_s = 1.15$

$f_{yd} = f_{yk} / \lambda_s / \lambda_E = 391.3$  (N/mm<sup>2</sup>)

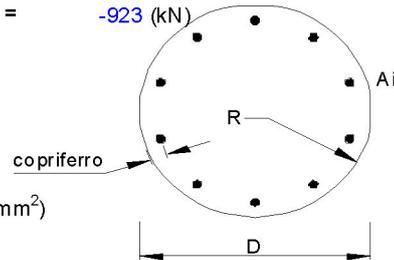
$E_s = 200000$  (N/mm<sup>2</sup>)

$\lambda_{ys} = 0.196\%$

$\lambda_{tk} = 1.111\%$

$\lambda_{td} = 1.000\%$

$\Lambda = 0.9$



##### Armature

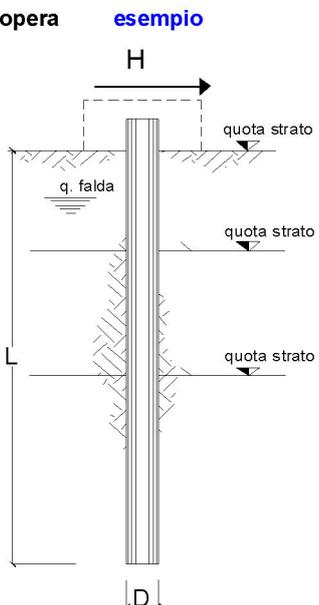
numero		diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
14	$\Lambda$	20	4398.23	82
0	$\Lambda$	18	0.00	70
0	$\Lambda$	8	0.00	30

#### Momento di Plasticizzazione

$M_y = 170.7$  (kN m)

## 10.4. CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE

opera **esempio**



strati terreno	descrizione	quote (m)	< (kN/m <sup>3</sup> )	< (kN/m <sup>3</sup> )	< (°)	k <sub>p</sub>	c <sub>u</sub> (kPa)
p.c.=strato 1		100.00				1.00	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		99.00	18	18	25	2.46	0
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3		96.50	18	18	33	3.39	0
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4						1.00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00	

Quota falda **80** (m)

Diametro del palo **D** **0.60** (m)

Lunghezza del palo **L** **10.00** (m)

Momento di plasticizzazione palo **My** **170.7** (kNm)

Step di calcolo **0.01** (m)

palo impedito di ruotare  
palo libero

Palo lungo H = **149.5** (kN)

Palo intermedio H = **971.8** (kN)

Palo corto H = **4357.2** (kN)

**H<sub>lim</sub> = 149.5 (kN) Palo lungo**

$$H_{Rd} = 149 \text{ kN} > H_{Sd,max} = 63.5 \text{ kN} \quad (\text{VERIFICATO})$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-CL-BAVC-00-011-B00	Foglio 27 di 48

## 10.5. SOLLECITAZIONI LUNGO IL PALO

Si riporta di seguito il calcolo delle sollecitazioni lungo il palo in funzione del carico orizzontale dedotto dalla modellazione agli Elementi Finiti, ed ipotizzando la testa impedita di ruotare.

A favore di sicurezza si considera che il primo metro di terreno non collabori alla resistenza laterale.

$T_{max}$  = H forza orizzontale applicata in testa al micropalo sporgente dal terreno di  $h = 2$  m per la presenza di uno strato superficiale assunto come non collaborante (nel caso di rilevati) oppure  $h = 1$  m nei restanti casi.

$M_{max} = 0.5 \cdot H \cdot (h + L_0)$  calcolato in base alle seguenti proprietà:

$$L_0 = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{k_h \cdot D_d}}$$

dove

E modulo elastico del calcestruzzo

$J_s$  momento d'inerzia del tubo

$J_c$  momento d'inerzia del calcestruzzo

l'acciaio è omogeneizzato al calcestruzzo con  $n=6$

$J = J_c + n \cdot J_s$  momento d'inerzia totale

$k_h = c_g \cdot n_h \cdot z/d$  coefficiente di reazione orizzontale del terreno

$c_g = 0.5$  coefficiente riduttivo di gruppo (dipendente dal numero di micropali)

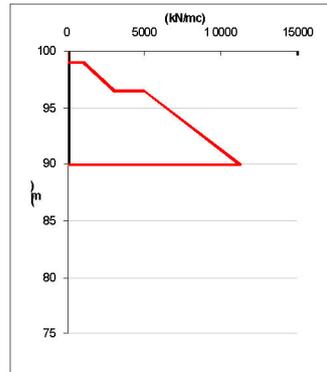
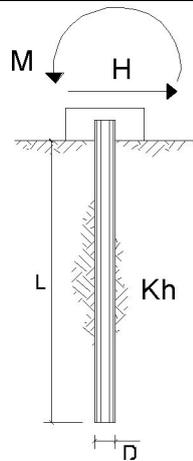
$n_h = a \cdot \gamma / 1.35$  dove:

$a$  coefficiente adimensionale dipendente dallo stato di addensamento del terreno;

$\gamma$  peso specifico del terreno.

$z$  profondità media del terreno reagente, trascurando i primi 2 metri di terreno per tener conto della scarsa resistenza laterale offerta da tale strato

$d = D_d$



strati terreno	descrizione	quote (m)	$k_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	$n_h$ (kN/m <sup>3</sup> )
p.c.=strato 1		100.00	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		99.00	1000	500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3		96.50	5000	500
<input type="checkbox"/> strato 4				
<input type="checkbox"/> strato 5				
<input type="checkbox"/> strato 6				

Diametro del palo	0.6 (m)
J palo	0.00636 (m <sup>4</sup> )
Lunghezza del palo	10 (m)
Forza orizzontale in testa	63.5 (kN)
Momento in testa	0 (kNm)
E cls	31476 (Mpa)
dimensione elementi	0.4 (m)

palo impedito di ruotare

palo impedito di traslare

palo libero

**SPOSTAMENTI, ROTAZIONI, PRESSIONE**

<b>Spostamenti, Rotazioni, Pressione</b>				
nodo	z	y(z)	$\alpha(z)$	p(z)
	quota (m)	(mm)	(rad)	(kPa)
1	100.00	10.49	0.00000	0.00
2	99.50	10.37	0.00046	0.00
3	99.00	10.04	0.00085	5.46
4	98.58	9.63	0.00111	12.98
5	98.17	9.13	0.00131	15.47
6	97.75	8.55	0.00147	17.45
7	97.33	7.91	0.00158	18.89
8	96.92	7.23	0.00165	19.79
9	96.50	6.54	0.00169	26.41
10	96.09	5.85	0.00169	31.23
11	95.69	5.17	0.00166	29.34
12	95.28	4.50	0.00162	27.08
13	94.88	3.86	0.00156	24.50
14	94.47	3.24	0.00149	21.66
15	94.06	2.64	0.00142	18.59
16	93.66	2.08	0.00135	15.33
17	93.25	1.54	0.00129	11.90
18	92.84	1.03	0.00123	8.31
19	92.44	0.54	0.00118	4.56
20	92.03	0.07	0.00114	0.65
21	91.63	-0.38	0.00111	-3.45
22	91.22	-0.83	0.00108	-7.76
23	90.81	-1.26	0.00107	-12.30
24	90.41	-1.70	0.00107	-17.11
25	90.00	-2.13	0.00107	-22.02

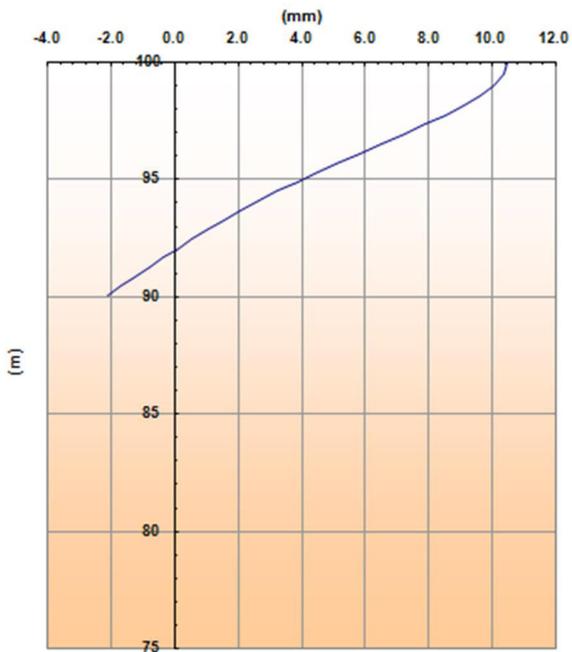
## SOLLECITAZIONI

nodo	z	M(z)	T(z)
	quota (m)	(kNm)	(kN)
1	100.00	-201.28	63.50
2	99.50	-169.53	63.50
	99.50	-169.53	63.50
3	99.00	-137.78	63.50
	99.00	-137.78	62.14
4	98.58	-111.89	62.14
	98.58	-111.89	58.89
5	98.17	-87.36	58.89
	98.17	-87.36	55.02
6	97.75	-64.43	55.02
	97.75	-64.43	50.66
7	97.33	-43.32	50.66
	97.33	-43.32	45.94
8	96.92	-24.18	45.94
	96.92	-24.18	40.99
9	96.50	-7.10	40.99
	96.50	-7.10	34.49
10	96.09	6.91	34.49
	96.09	6.91	26.88
11	95.69	17.83	26.88
	95.69	17.83	19.73
12	95.28	25.85	19.73
	95.28	25.85	13.13
13	94.88	31.18	13.13
	94.88	31.18	7.16
14	94.47	34.09	7.16
	94.47	34.09	1.88
15	94.06	34.85	1.88
	94.06	34.85	-2.65
16	93.66	33.77	-2.65
	93.66	33.77	-6.39
17	93.25	31.18	-6.39
	93.25	31.18	-9.29
18	92.84	27.40	-9.29
	92.84	27.40	-11.31
19	92.44	22.81	-11.31
	92.44	22.81	-12.43
20	92.03	17.76	-12.43
	92.03	17.76	-12.58
21	91.63	12.65	-12.58
	91.63	12.65	-11.74
22	91.22	7.88	-11.74
	91.22	7.88	-9.85
23	90.81	3.87	-9.85
	90.81	3.87	-6.85
24	90.41	1.09	-6.85
	90.41	1.09	-2.68
25	90.00	0.00	-2.68

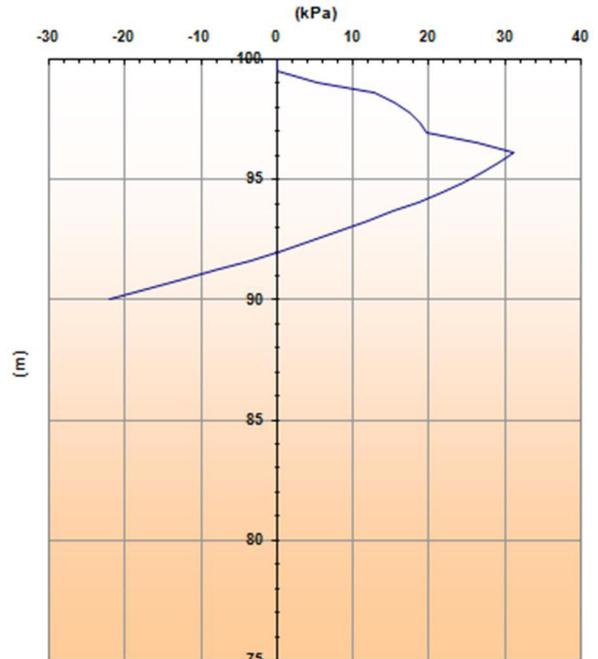
$$M_{sd} = 201 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = 63.5 \text{ kN}$$

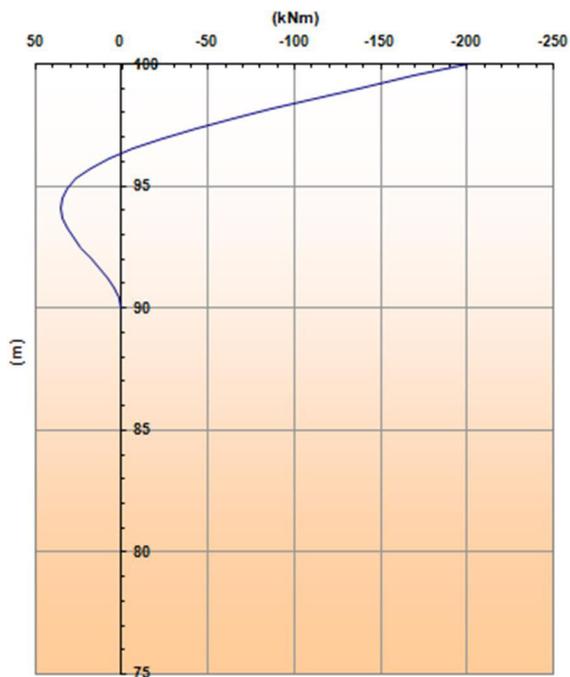
**Spostamenti**



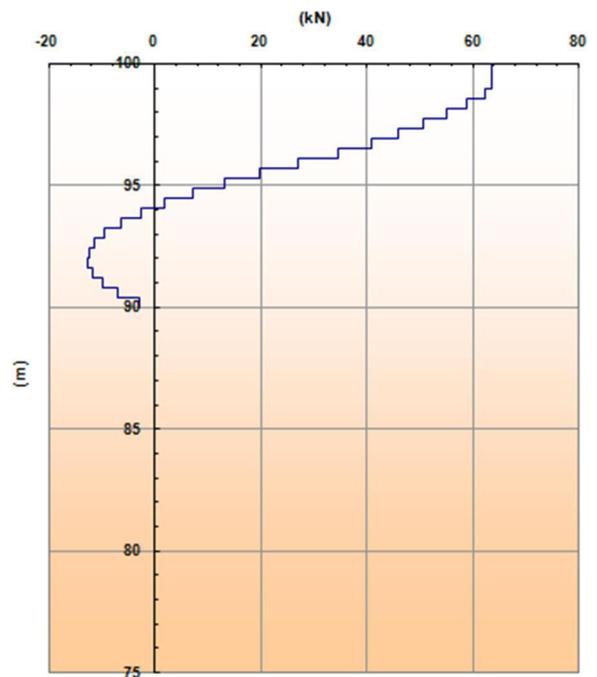
**Pressioni**



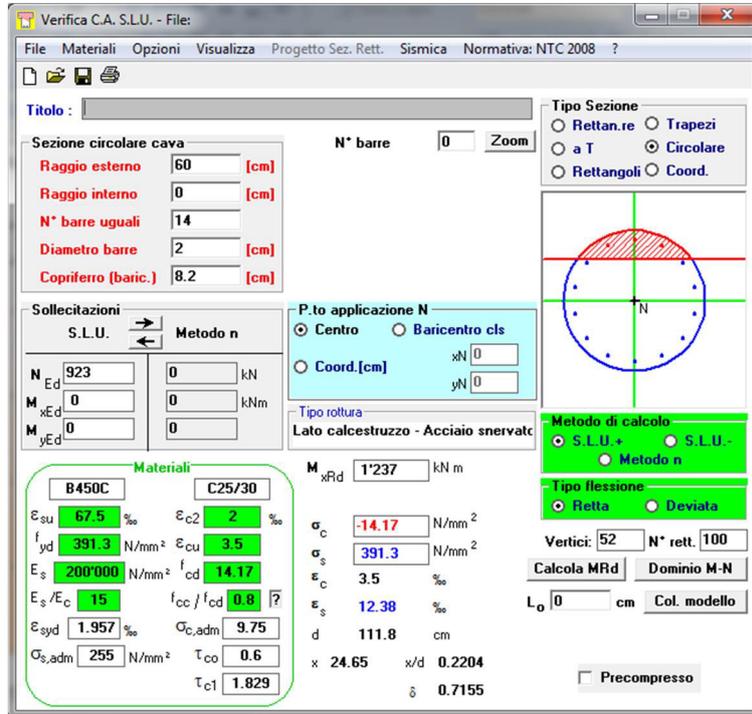
**Momento**



**Taglio**



**Verifica a Presso-flessione**



**Verifica C.A. S.L.U. - File:**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 60 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 14
- Diametro barre: 2 [cm]
- Copriferro (baric.): 8.2 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 923 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0 kNm

**P.to applicazione N**

Centro Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

**Materiali**

B450C C25/30

ε<sub>su</sub>: 67.5 % ε<sub>c2</sub>: 2 %  
 f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3.5 %  
 E<sub>s</sub>: 200'000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 14.17  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
 ε<sub>syd</sub>: 1.957 % σ<sub>c,adm</sub>: 9.75  
 G<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0.6  
 τ<sub>c1</sub>: 1.829

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>: 1'237 kNm

σ<sub>c</sub>: -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>c</sub>: 3.5 %  
 ε<sub>s</sub>: 12.38 %  
 d: 111.8 cm  
 x: 24.65 x/d: 0.2204  
 δ: 0.7155

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+ S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**

Retta Deviata

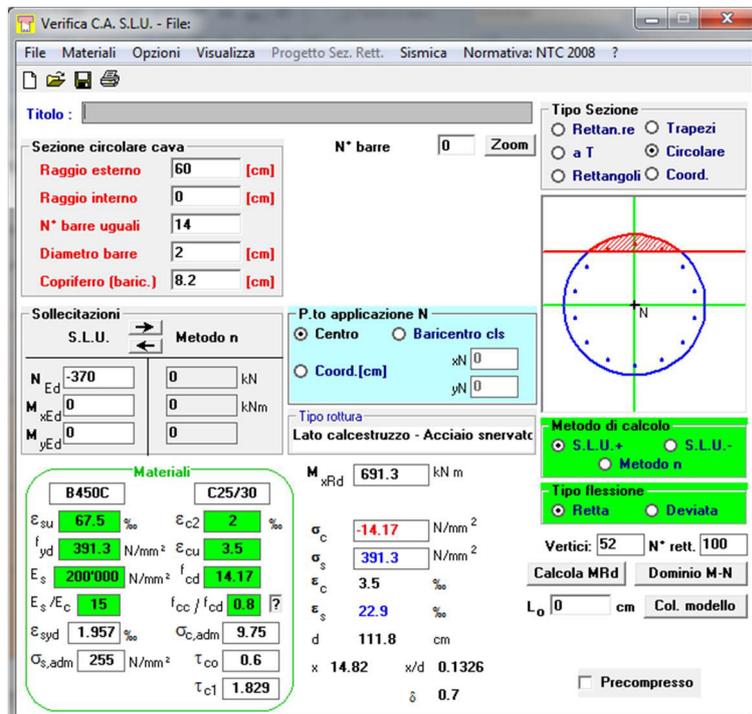
Vertici: 52 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

$$M_{Rd,Nmax} = 1237 \text{ kNm} > M_{Sd} = 201 \text{ kNm}$$



**Verifica C.A. S.L.U. - File:**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 60 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 14
- Diametro barre: 2 [cm]
- Copriferro (baric.): 8.2 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: -370 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0 kNm

**P.to applicazione N**

Centro Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

**Materiali**

B450C C25/30

ε<sub>su</sub>: 67.5 % ε<sub>c2</sub>: 2 %  
 f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3.5 %  
 E<sub>s</sub>: 200'000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 14.17  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
 ε<sub>syd</sub>: 1.957 % σ<sub>c,adm</sub>: 9.75  
 G<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0.6  
 τ<sub>c1</sub>: 1.829

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>: 691.3 kNm

σ<sub>c</sub>: -14.17 N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>c</sub>: 3.5 %  
 ε<sub>s</sub>: 22.9 %  
 d: 111.8 cm  
 x: 14.82 x/d: 0.1326  
 δ: 0.7

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+ S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**

Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

$$M_{Rd,Nmin} = 691 \text{ kNm} > M_{Sd} = 201 \text{ kNm}$$

### *Verifica a Taglio*

$$V_{Sdu} = 63.5 \text{ kN}$$

$$V_{Sdu} < V_{cd} + V_{wd}$$

A favore di sicurezza si omette il calcolo del contributo a taglio offerto dalla sezione di calcestruzzo e si affida l'intera sollecitazione alla resistenza fornita dalle staffe.

Taglio resistente per sezioni armate:

$$V_{wd} = 0.8 \cdot d \cdot A_{Sw} / s \cdot f_{yd}$$

dove:  $A_{Sw} = 1 \text{ } \emptyset 10 / 150 = 158 \text{ mm}^2$  ;  $d = 520 \text{ mm}$  ;  $f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$

$$V_{wd} = 171.5 \text{ kN} > V_{Sdu} = 63.5 \text{ kN} \quad (\text{VERIFICATO})$$

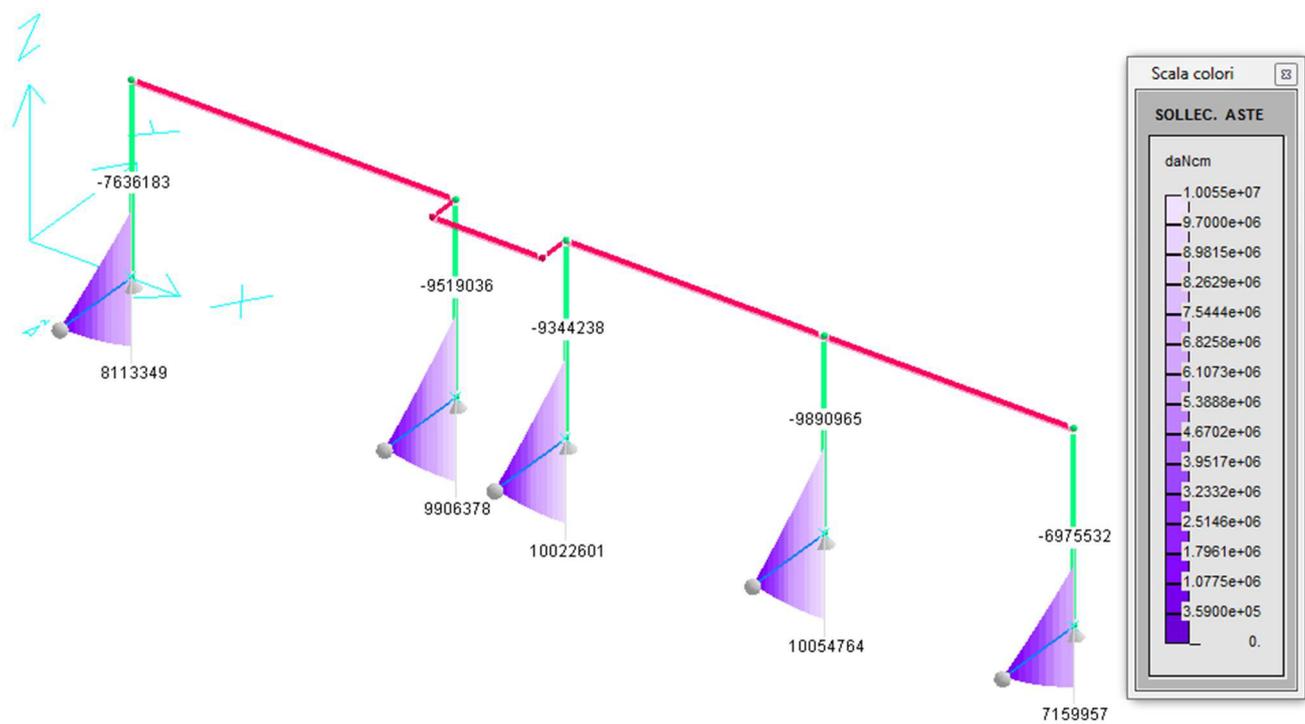
## 11. VERIFICHE STRUTTURALI

### 11.1. VERIFICHE TRAVE DI FONDAZIONE

Nel presente paragrafo si riportano le verifiche delle soles di fondazione del sistema strutturale in oggetto.

A tal proposito si riportano i diagrammi di involucro delle principali sollecitazioni calcolate per i casi di carico n. 1, 2, 5 e 6.

**Momento flettente -  $M$**

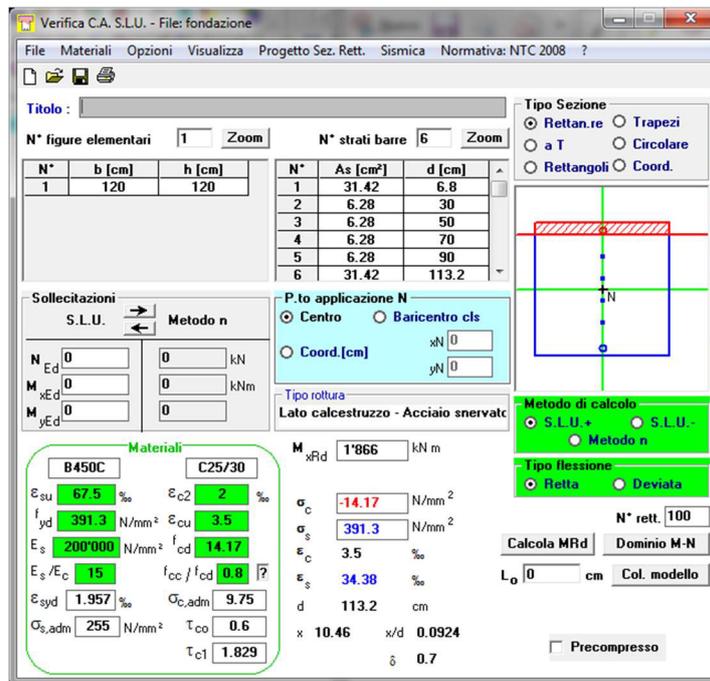


$$M_{sd} = 1005 \text{ kNm}$$

Si riporta la verifica delle soles di fondazione a flessione eseguita con l'ausilio del software di calcolo GELFI.

$$A_S = A'_S = 10 \text{ } \varnothing 20;$$

$$A_{S,\text{laterale}} = 4+4 \text{ } \varnothing 20.$$



Verifica C.A. S.L.U. - File: fondazione

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 6 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	120	120	1	31.42	6.8
			2	6.28	30
			3	6.28	50
			4	6.28	70
			5	6.28	90
			6	31.42	113.2

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

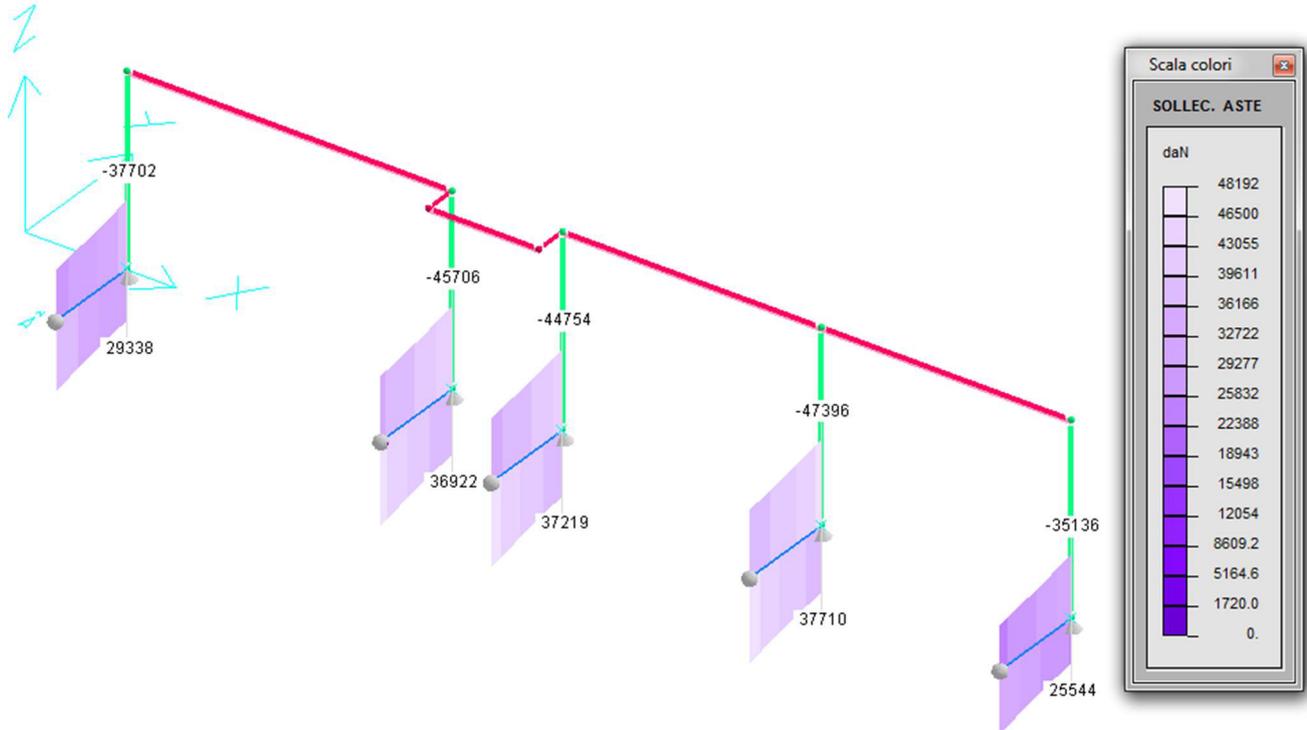
Materiali

B450C C25/30

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 14.17 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ‰  
ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 9.75 ‰  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6 ‰  
τ<sub>c1</sub> 1.829 ‰

M<sub>xRd</sub> 1'866 kN m  
σ<sub>c</sub> -14.17 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 34.38 ‰  
d 113.2 cm  
x 10.46 x/d 0.0924  
δ 0.7

$$M_{Rd} = 1866 \text{ kNm} > M_{Sd} = 1005 \text{ kNm}$$

**Taglio - V**

$$V_{Sdu} = 473 \text{ kN}$$

A favore di sicurezza si omette il calcolo del contributo a taglio offerto dalla sezione di calcestruzzo e si affida l'intera sollecitazione alla resistenza fornita dalle staffe.

Si riporta la verifica a taglio delle soles di fondazione.

$$A_{Sw} = 2 \text{ staffe } \varnothing 12/150 = 452 \text{ mm}^2$$

$$V_{wd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{Sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

dove:  $b_w = 1200 \text{ mm}$  ;  $d = 1150 \text{ mm}$  ;  $\alpha = 90^\circ$  ;

$$f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2 ;$$

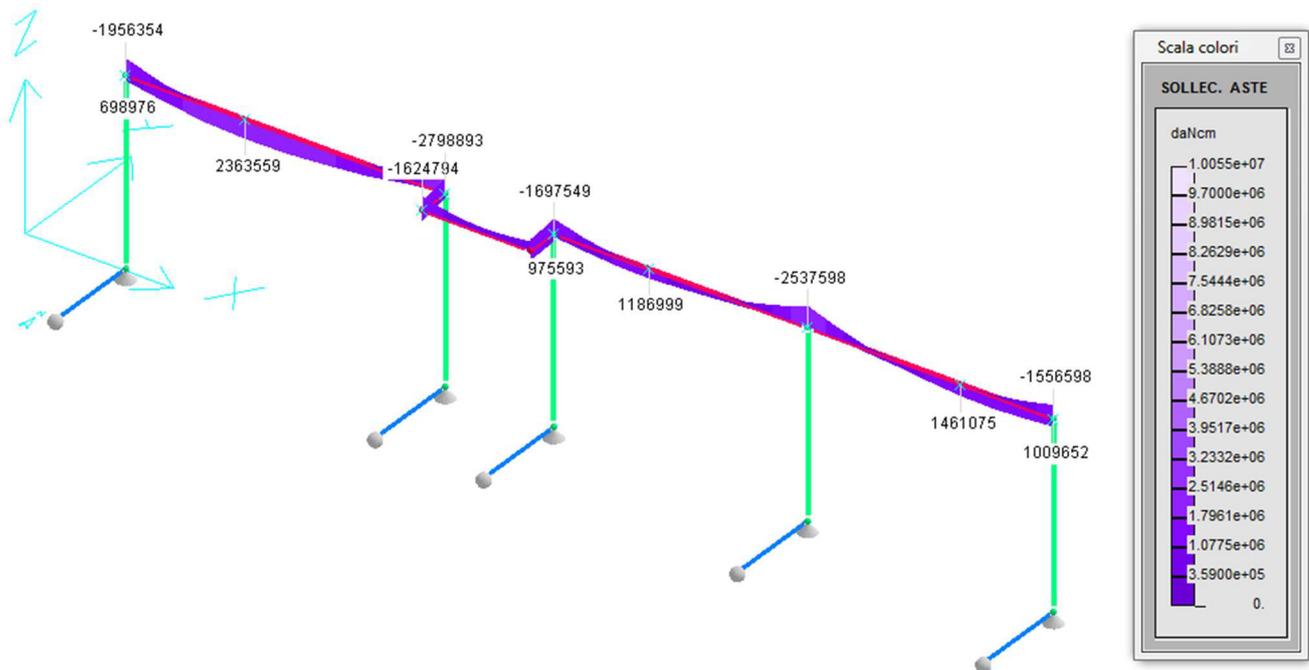
pertanto :

$$V_{wd} = 1220 \text{ kN} > V_{Sdu} = 473 \text{ kN}$$

## 11.2. VERIFICHE TRAVE IN ELEVAZIONE

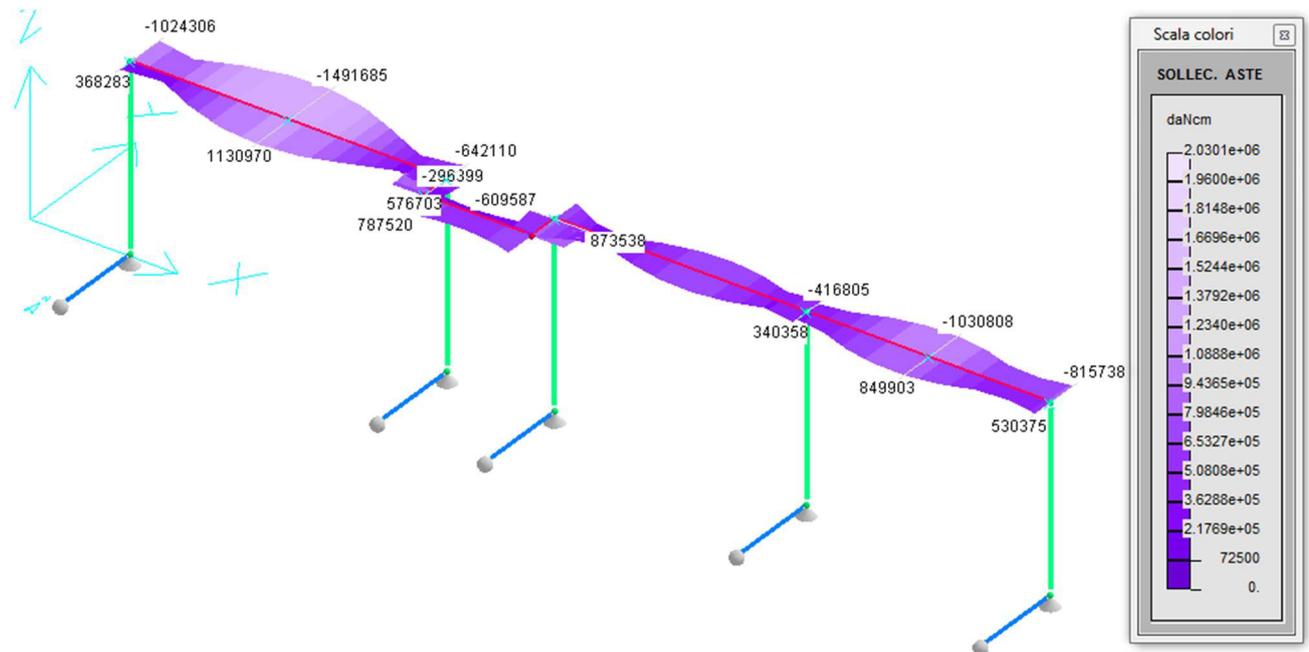
Nel presente paragrafo si riportano le verifiche della trave in elevazione del sistema strutturale. A tal proposito si riportano i diagrammi di involuppo delle principali sollecitazioni calcolate per i casi di carico n. 1, 2, 5 e 6.

### *Momento flettente - $M_x$ (flessione nel piano verticale)*



$$M_{sd}^{(-)} = 280 \text{ kNm} \quad ; \quad M_{sd}^{(+)} = 236 \text{ kNm}$$

### *Momento flettente - $M_y$ (flessione nel piano orizzontale)*



$$M_{sd}^{(-)} = 149 \text{ kNm} \quad ; \quad M_{sd}^{(+)} = 113 \text{ kNm}$$

Si riporta la verifica della trave a presso-flessione deviata eseguita con l'ausilio del software di calcolo GELFI.

$$A_S = A'_S = 7 \text{ } \varnothing 18;$$

$$A_{\text{Scentrale}} = 3+3 \text{ } \varnothing 18.$$

Verifica C.A. S.L.U. - File: trave 100x80

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom  N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	16	2.54	6.4	40
2	100	0	17	2.54	6.4	56
3	100	80	18	2.54	93.6	23
4	0	80	19	2.54	93.6	40
			20	2.54	93.6	56

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

P.to applicazione N:  Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN  yN

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C32/40

$\epsilon_{su}$   %  $\epsilon_{c2}$   %  
 $f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   %  
 $E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   %  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   %  $\sigma_{c,adm}$    
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$    
 $\tau_{c1}$

M<sub>xRd</sub>  kNm  
 M<sub>yRd</sub>  kNm  
 $\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_c$   %  
 $\epsilon_s$   %  
 d  cm  
 x  x/d   
 $\delta$

Metodo di calcolo:  S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

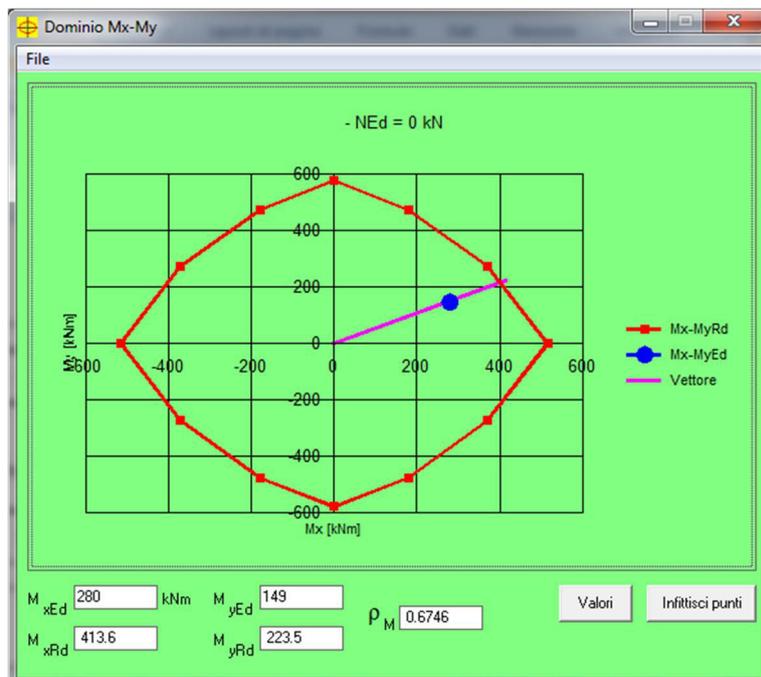
Tipo flessione:  Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio Mx-My

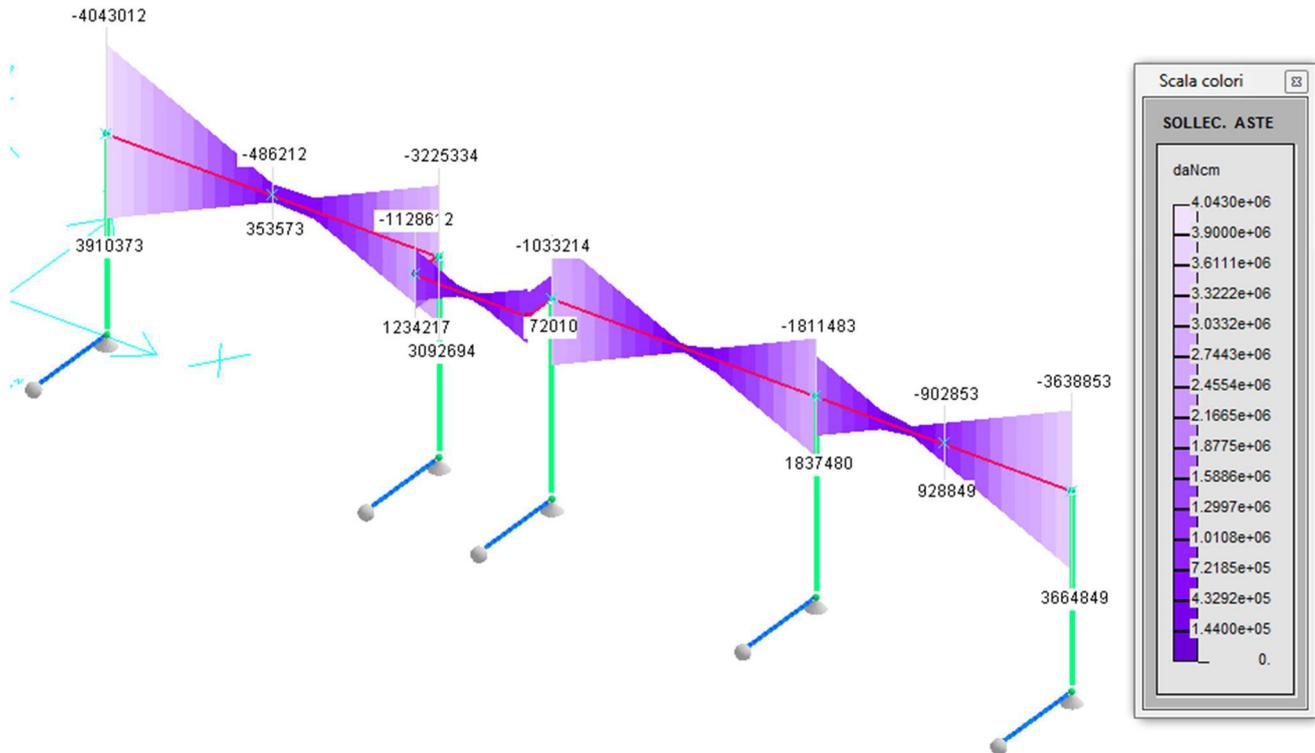
angolo asse neutro  $\theta^\circ$

Precompresso



$$M_{Rd,x} = 414 \text{ kNm} > M_{Sd,x} = 280 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,y} = 223 \text{ kNm} > M_{Sd,y} = 149 \text{ kNm}$$

**Momento torcente - T**

$$T_{Sd} = 404 \text{ kNm}$$

Si riporta la verifica della trave a torsione.

$$A_{Sl} = 12 \text{ } \varnothing 18 = 30.54 \text{ cm}^2;$$

$$A_{Sw} = \text{staffa chiusa } \varnothing 12/100 = 1.13 \text{ cm}^2$$

$$T_{Rcd} = 1/2 * (f_{cd} * B_e * h_s)$$

$$T_{Rsd} = 2 * B_e * A_{Sw} / s * f_{yd}$$

$$T_{Rld} = 2 * B_e * \Sigma A_{Sl} / u_e * f_{yd}$$

$$\text{Dove: } B_e = 88 * 68 = 5984 \text{ cm}^2 ; u_e = (88 + 68) * 2 = 312 \text{ cm} ; d_e = 68 \text{ cm} ;$$

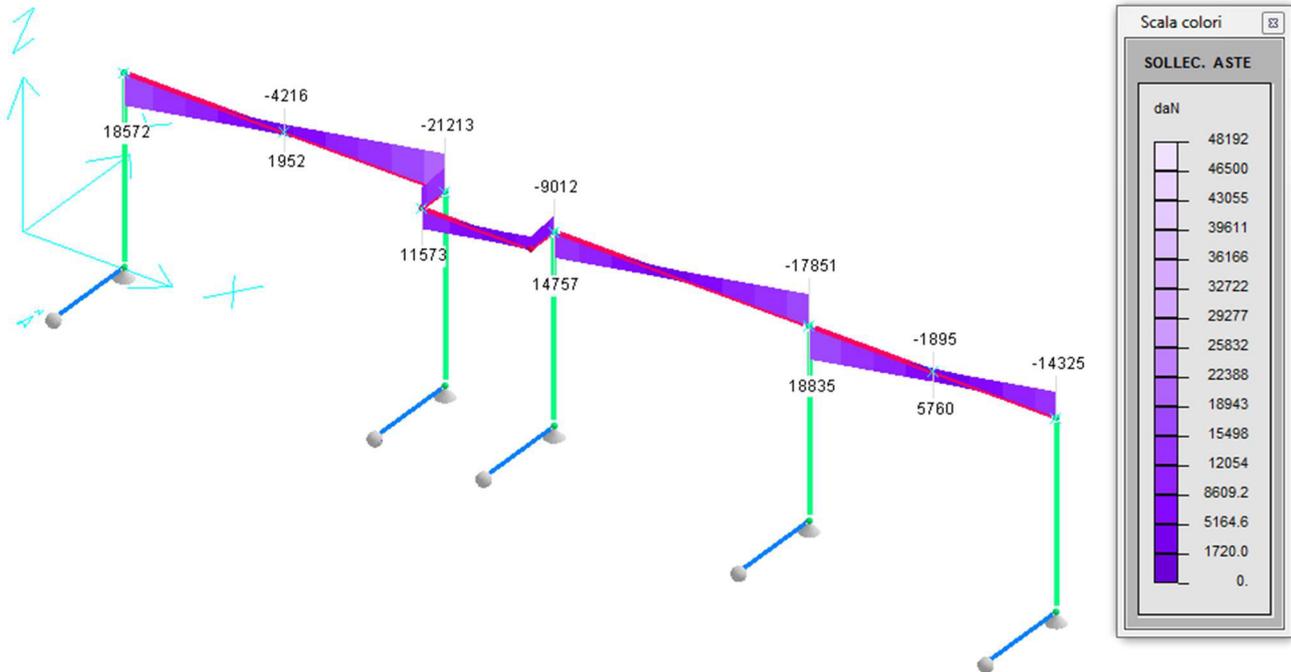
$$h_s = d_e / 6 = 11.3 \text{ cm} ;$$

$$f_{cd} = 18.13 \text{ N/mm}^2 ; f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{Rcd} = 615 \text{ kNm}$$

$$T_{Rsd} = 529 \text{ kNm}$$

$$T_{Rld} = 459 \text{ kNm} > T_{Sd} = 404 \text{ kNm}$$

**Taglio -  $V_z$** 

$$V_{Sd,z} = 212 \text{ kN}$$

A favore di sicurezza si omette il calcolo del contributo a taglio offerto dalla sezione di calcestruzzo e si affida l'intera sollecitazione alla resistenza fornita dalle staffe.

Si riporta la verifica a taglio in direzione Z delle travi.

$$A_{Sw} = 1 \text{ staffa } \varnothing 10/100 = 157 \text{ mm}^2$$

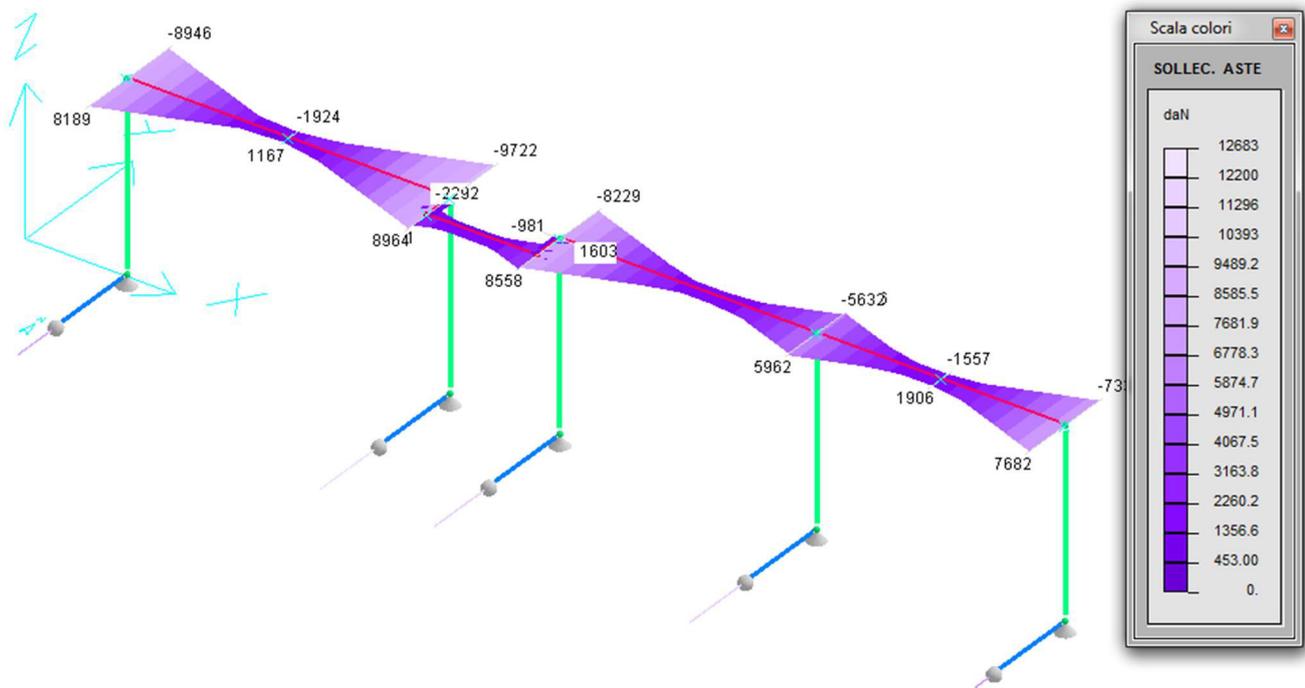
$$V_{wd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{Sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

dove:  $b_w = 1000 \text{ mm}$  ;  $d = 740 \text{ mm}$  ;  $\alpha = 90^\circ$  ;

$$f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2 ;$$

pertanto :

$$V_{wd} = 409 \text{ kN} > V_{Sdu} = 212 \text{ kN}$$

**Taglio -  $V_y$** 

$$V_{Sd,y} = 97 \text{ kN}$$

A favore di sicurezza si omette il calcolo del contributo a taglio offerto dalla sezione di calcestruzzo e si affida l'intera sollecitazione alla resistenza fornita dalle staffe.

Si riporta la verifica a taglio in direzione Y delle travi.

$$A_{Sw} = 1 \text{ spillo } \varnothing 10/150 = 79 \text{ mm}^2$$

$$V_{wd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{Sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

dove:  $b_w = 800 \text{ mm}$  ;  $d = 940 \text{ mm}$  ;  $\alpha = 90^\circ$  ;

$$f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2 ;$$

pertanto :

$$V_{wd} = 174 \text{ kN} > V_{Sdu} = 97 \text{ kN}$$

Si riporta inoltre la verifica per le sollecitazioni composte di torsione e taglio prevista dal DM 16/01/1996 al p.to 4.2.3.1, al fine di limitare il tasso di lavoro nelle bielle compresse di calcestruzzo.

La relazione da rispettare è la seguente:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rcd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rdu}} \leq 1 \Rightarrow \frac{404}{615} + \frac{212}{4025} < 1 \Rightarrow 0.71 < 1$$

dove:

$$V_{Rdu} = 0.30 \cdot f_{cd} \cdot B \cdot d$$

### *Armature minime secondo DM 16/01/1996*

#### **Travi**

Armatura longitudinale tesa minima                      mmq

$$0.15\% < \rho$$

In direzione "z"

$$1200 < \mathbf{1778}$$

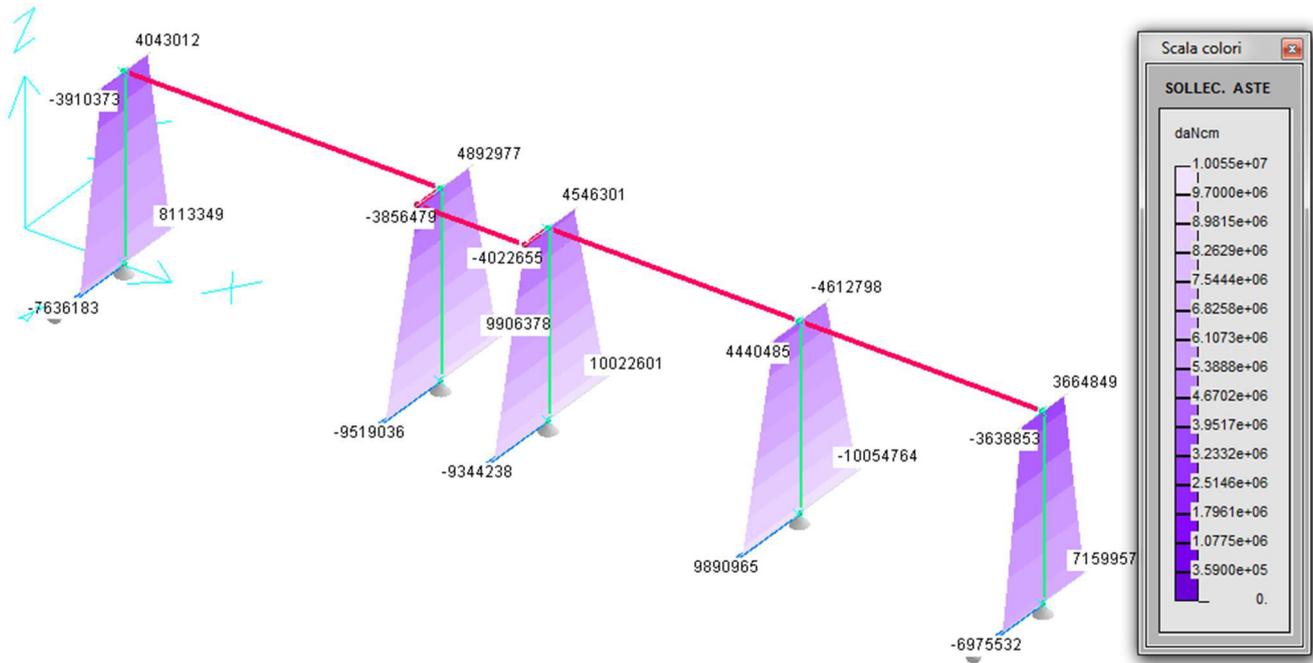
In direzione "y"

$$1200 < \mathbf{1270}$$

### 11.3. VERIFICHE SETTI

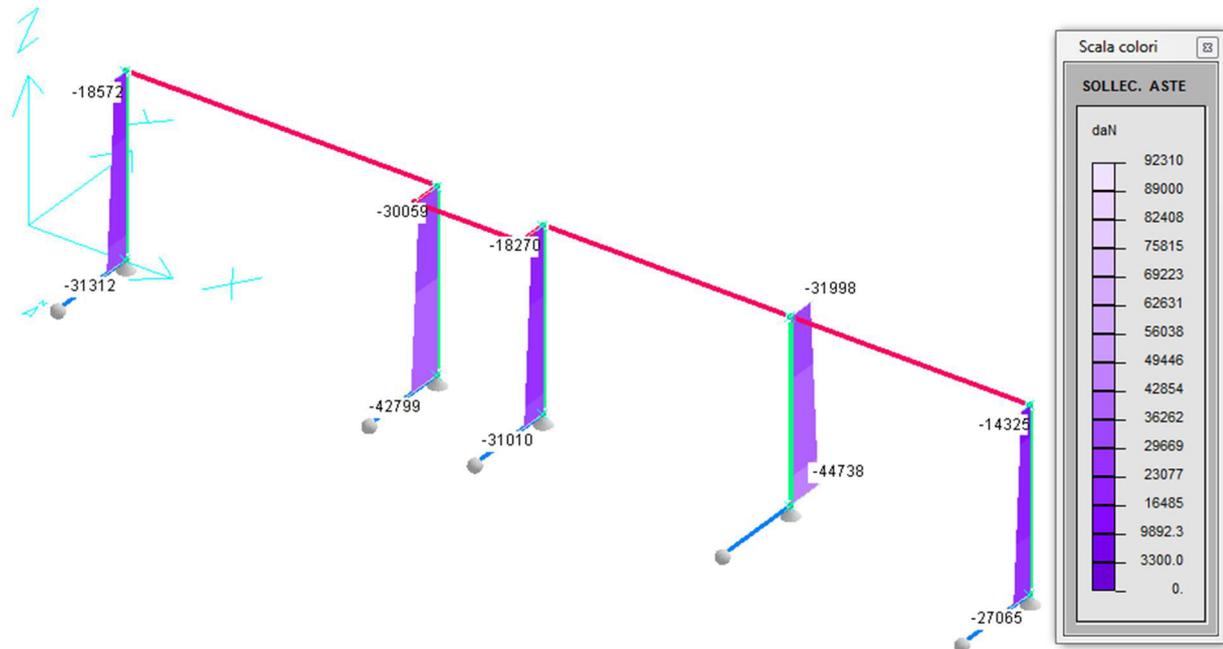
Nel presente paragrafo si riportano le verifiche dei setti del sistema strutturale. A tal proposito si riportano i diagrammi di involuppo delle principali sollecitazioni calcolate per i casi di carico n. 1, 2, 5 e 6.

#### Momento flettente - $M$



$$M_{Sd} = 1005 \text{ kNm}$$

#### Sforzo Normale - $N$



$$N_{Sd,min} = 447 \text{ kN}$$

Si riporta la verifica dei setti a presso-flessione eseguita con l'ausilio del software di calcolo GELFI.

$$A_s = A'_s = 7 \text{ } \varnothing 22;$$

$$A_{\text{Scentrale}} = 4+4 \text{ } \varnothing 22.$$

Verifica C.A. S.L.U. - File: pilastro 100x80

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	24	3.8	74	60
2	80	0	25	3.8	6.4	80
3	80	100	26	3.8	6.4	40
4	0	100	27	3.8	74	40
			28	3.8	74	80

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kNm

Materiali

B450C		C32/40	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200'000 N/mm²	$f_{cd}$	18.13
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0.7333
		$\tau_{c1}$	2.114

$\sigma_c$  -18.13 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  20.25 ‰  
 d 93.6 cm  
 x 13.79 x/d 0.1474  
 $\delta$  0.7

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

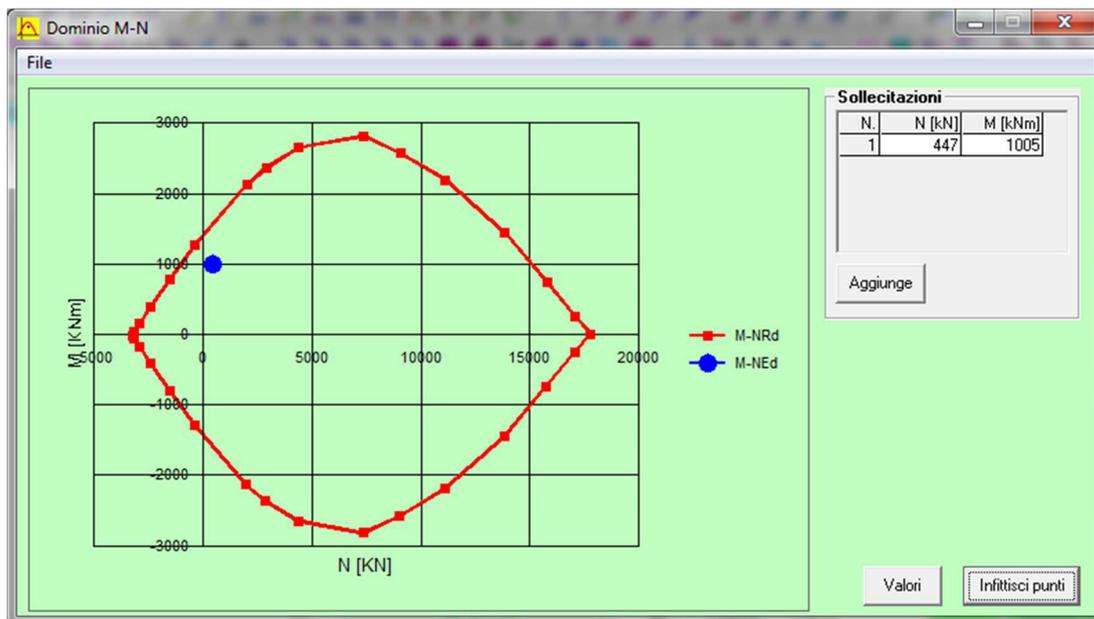
Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

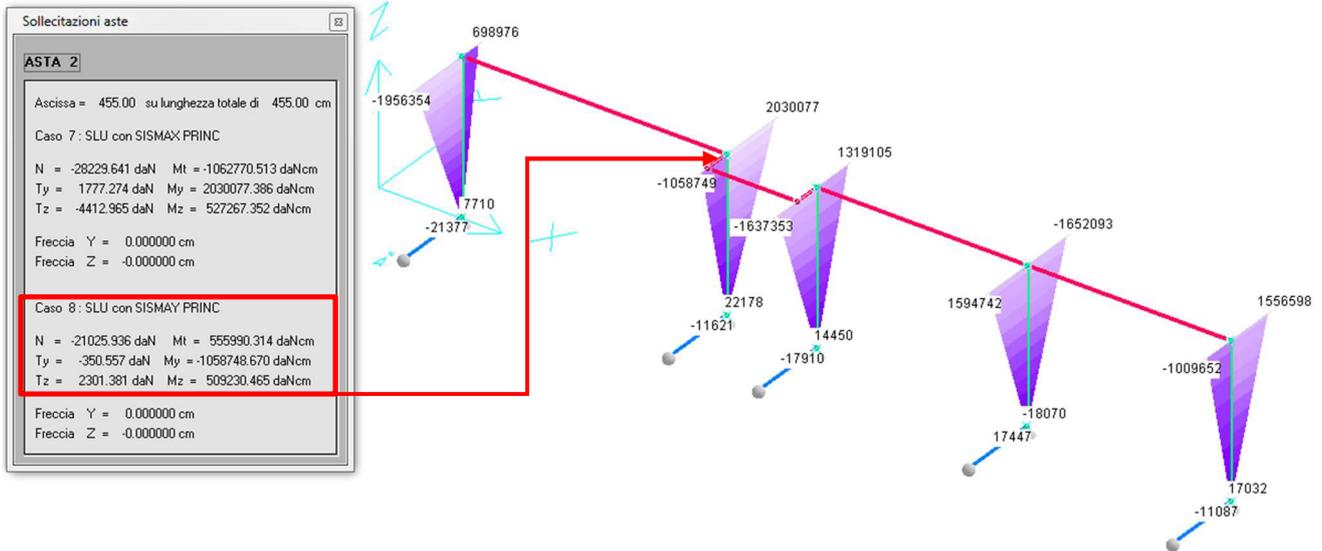
Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso



$$M_{Rd} = 1614 \text{ kNm} > M_{Sd} = 1005 \text{ kNm}$$

**Momentoflettente –  $M_y$**



$M_{Sd,y} = 203 \text{ kNm}$  ;  $M_{Sd,x} = 51 \text{ kNm}$

Si riporta la verifica del setto a presso-flessione deviata eseguita con l'ausilio del software di calcolo GELFI.

$A_S = A'_S = 7 \text{ } \varnothing 22$ ;

$A_{S,laterale} = 4+4 \text{ } \varnothing 22$ .

Verifica C.A. S.L.U. - File: pilastro 100x80

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO :

N° Vertici 4 Zoom N° barre 28 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	24	3.8	74	60
2	80	0	25	3.8	6.4	80
3	80	100	26	3.8	6.4	40
4	0	100	27	3.8	74	40
			28	3.8	74	80

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 51 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 203 kNm

P.to applicazione N Centro Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione Retta Deviata

Calcola MRd Dominio Mx-My

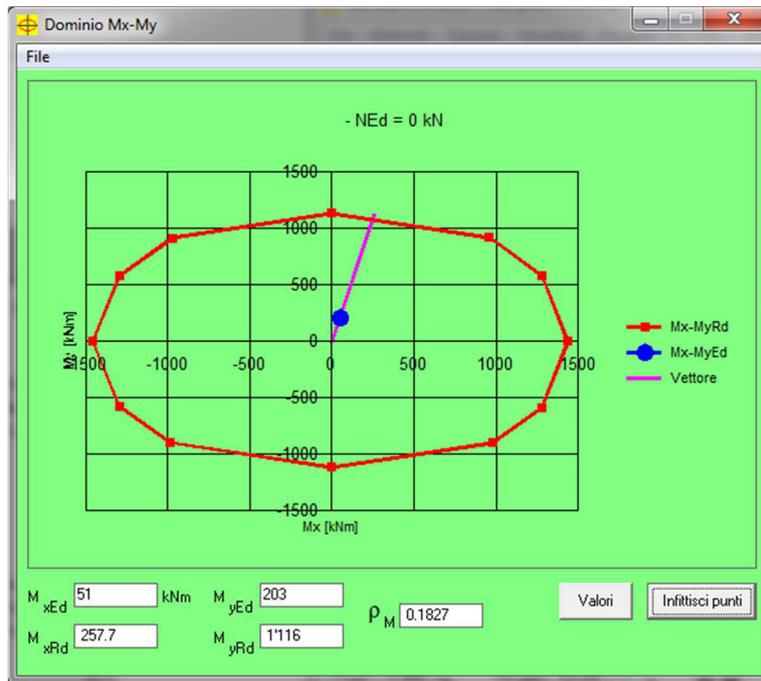
angolo asse neutro θ° 275

Precompresso

Materiali B450C C32/40

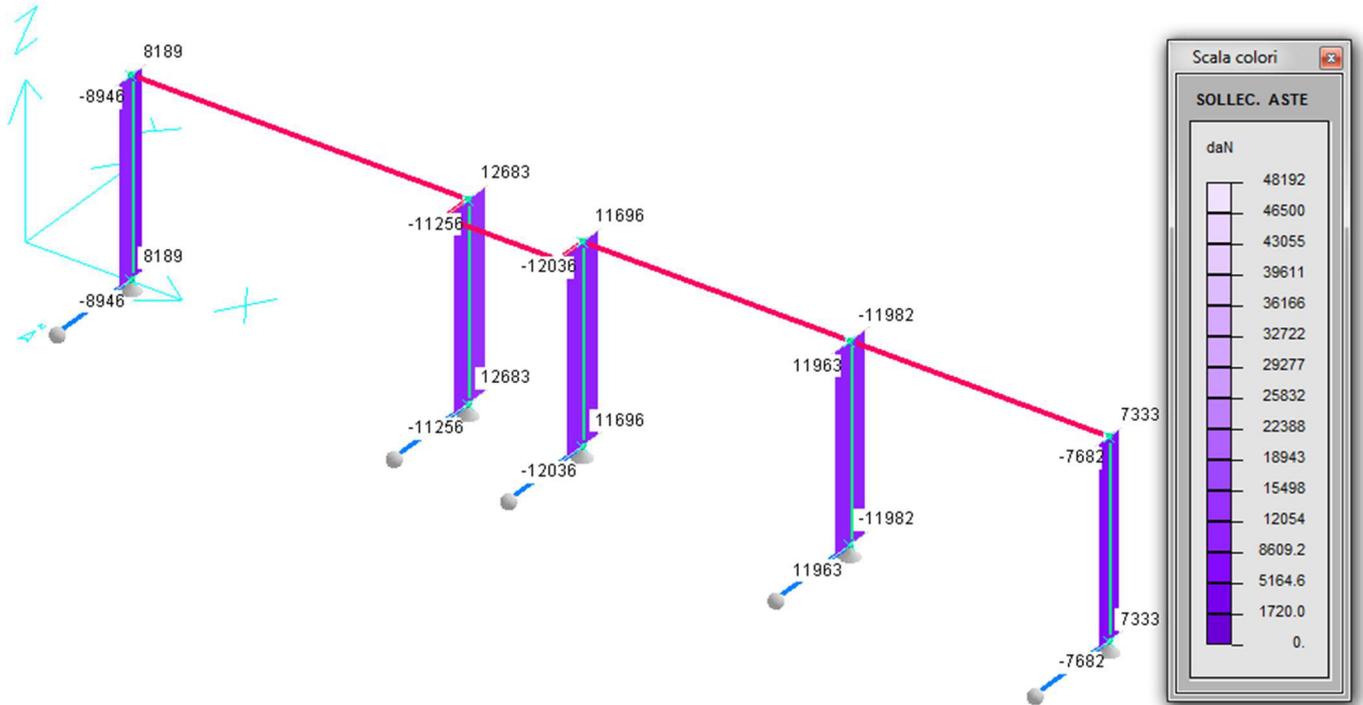
ε<sub>su</sub> 67.5 % ε<sub>c2</sub> 2 %  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 %  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.13  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 % σ<sub>c,adm</sub> 12.25  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.7333  
 τ<sub>cl1</sub> 2.114

M<sub>xRd</sub> 257.7 kNm  
 M<sub>yRd</sub> 1'116 kNm  
 σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 %  
 ε<sub>s</sub> 13.98 %  
 d 81.48 cm  
 x 16.32 x/d 0.2002  
 δ 0.7



$$M_{Rd,y} = 1116 \text{ kNm} > M_{Sd,y} = 203 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,x} = 258 \text{ kNm} > M_{Sd,x} = 51 \text{ kNm}$$

**Taglio - V**

$$V_{Sd,z} = 127 \text{ kN}$$

A favore di sicurezza si omette il calcolo del contributo a taglio offerto dalla sezione di calcestruzzo e si affida l'intera sollecitazione alla resistenza fornita dalle staffe.

Si riporta la verifica a tagli dei setti.

$$A_{Sw} = 1 \text{ staffa } \varnothing 10/100 = 157 \text{ mm}^2$$

$$V_{wd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{Sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha)$$

dove:  $b_w = 800 \text{ mm}$  ;  $d = 940 \text{ mm}$  ;  $\alpha = 90^\circ$  ;

$$f_{yd} = 391.3 \text{ N/mm}^2 ;$$

pertanto :

$$V_{wd} = 519 \text{ kN} > V_{Sdu} = 127 \text{ kN}$$

**Armature minime secondo DM 16/01/1996****Pilastrì**

Armatura longitudinale minima mmq

$$0.3\% < A_s / A_c < 6\%$$

$$2400 < 5080 < 48000$$

Armatura longitudinale minima mmq

$$0.15 N_{Sd} / f_{yd} < A_s$$

$$186 < 5080$$

## 11.4. INCIDENZA ARMATURE

Alle armature appena calcolate vanno aggiunte staffe e staffoni nelle due direzioni delle soles di fondazione, vanno considerate delle armature aggiuntive di confinamento delle zone critiche e un incremento del 20-25% per le sovrapposizioni e i pieghe. Nel calcolo dell'incidenza delle armature nelle soles di fondazione si è tenuto in conto degli ancoraggi delle barre longitudinali dei setti.

Nel calcolo del volume delle staffe dei setti e delle travi, vista la presenza di passi diversi tra la zona critica e la parte centrale dell'elemento, si è considerato un passo medio di 20 cm.

Portale continuo AREA 5	sez. [cm]	B	H	Armatura fuori calcolo [kg/m <sup>3</sup> ]	As=A's	As <sub>laterale</sub>	As <sub>torsione</sub>	Staffe torsione	Staffe taglio	V <sub>staffe</sub> [cm <sup>3</sup> /m]	V <sub>c</sub> [cm <sup>3</sup> /m]	Asl,tot [cm <sup>2</sup> ]	Vsl,tot [cm <sup>3</sup> /m]	Vs,tot [cm <sup>3</sup> /m]	ω [%]	incidenza armatura [kg/m <sup>3</sup> ]
FONDAZIONI	120 X 120 (h)	120	120	22	10Φ24	4+4Φ20	//	//	2Φ12/150	7040	1440000	109.9	10990	18030	1.25	120
SETTI	80 x 100 (h)	80	100	7	7Φ22	4+4Φ22	//	//	Φ10/200	1501	800000	100.3	10032	11533	1.44	120
TRAVI	100 x 80 (h)	100	80		7Φ18	3+3Φ18	12Φ18	Φ12/100	1Φ10/200 1Φ10/150	3933	800000	98.3	9835	13768	1.72	135
PALI	Φ60				14Φ20	//	//	//	Φ10/150	742	282743	50.1	5011	5754	2.03	160

Alla luce di tali considerazioni e della tabella riassuntiva delle armature calcolate si ipotizza un'incidenza di armatura media di 120 kg/m<sup>3</sup> di calcestruzzo per le fondazioni, 120 kg/m<sup>3</sup> per i setti, 135 kg/m<sup>3</sup> per le travi e 160 kg/m<sup>3</sup> per i pali.