

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 ESECUTIVO**

**NUOVA VIABILITA' TRATTA VIA ERZELLI - VIA BORZOLI PARTE STRADALE - OPERE D'ARTE  
Opera di sostegno via Melen  
Relazione di calcolo**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. G. Guagnozzi	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	C L	N V 0 1 0 5	0 0 3	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	Vega Eng. <i>[Signature]</i>	19/09/2012	Ing. F. Colla <i>[Signature]</i>	21/09/2012	E. Pagani <i>[Signature]</i>	25/09/2012	Ing. E. Ghislandi

n. Elab.:	File: IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01
-----------	---------------------------------------



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01
	Foglio 3 di 68

## INDICE

INDICE.....	3
1.   PREMESSA.....	5
2.   DESCRIZIONE.....	5
3.   NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	9
4.   AZIONE SISMICA.....	10
4.1.   PARAMETRI DI RIFERIMENTO PER LA DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	10
4.2.   COEFFICIENTI PER IL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA.....	10
4.2.1.   Coefficiente di intensità sismica (C).....	10
4.2.2.   Coefficiente di fondazione.....	10
4.2.3.   Coefficiente di struttura ( $\beta$ ).....	11
4.2.4.   Coefficiente di protezione sismica (I).....	11
5.   CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	12
6.   PARAMETRI GEOTECNICI.....	12
7.   ANALISI DELLE STRUTTURE.....	14
7.1.   Modello di calcolo agli elementi finiti.....	14
8.   ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONE DI CARICO ELEMENTARI.....	15
8.1.   CARICHI PERMANENTI (AZIONI DI LUNGA DURATA).....	15
8.1.1.   Peso proprio strutture (g1).....	15
8.1.2.   Carichi permanenti portati (g2).....	15
8.1.3.   Ritiro del calcestruzzo ( $\epsilon_2$ ).....	16
8.1.4.   Variazioni termiche ( $\epsilon_3$ ).....	17
8.2.   CARICHI ACCIDENTALI (AZIONI DI BREVE DURATA).....	17
8.2.1.   Carichi mobili (q1).....	17
8.2.2.   Effetto dinamico dei carichi mobili (q2).....	18
8.2.3.   Carichi applicati al modello.....	18
8.2.4.   Azioni longitudinali di frenamento (q3).....	21
8.2.5.   Azione centrifuga (q4).....	22
8.2.6.   Azione del vento (q5).....	23
8.3.   AZIONI ECCEZIONALI.....	24
8.3.1.   Azione sismica (q6).....	24
8.3.2.   Azioni sui parapetti (q8).....	24
8.3.3.   Urto di un veicolo in svio (q8).....	24
8.4.   CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI.....	25
9.   COMBINAZIONI DI CARICO.....	26
9.1.   Combinazioni per gli stati limite ultimi.....	26
9.2.   Combinazioni sismiche.....	26
9.3.   Combinazioni per gli stati limite di esercizio.....	26
9.4.   Criterio di verifica.....	27
10.   CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE.....	28
10.1.   SOLLECITAZIONI NEGLI ELEMENTI BIDIMENSIONALI.....	28
10.2.   SOLLECITAZIONE NELLA TRAVE DI BORDO.....	38
10.3.   SPOSTAMENTI E DEFORMAZIONI.....	39
11.   VERIFICHE STRUTTURALI DEGLI ELEMENTI PRINCIPALI.....	40
11.1.   VERIFICHE DEGLI ELEMENTI PRINCIPALI.....	40
11.2.   Stato limite di deformazione.....	40



12.	VERIFICA PREDALLES PER GETTO .....	41
13.	VERIFICHE DELLA PALIFICATA .....	42
13.1.	MODELLO DI CALCOLO .....	42
14.	VERIFICHE CORDOLO A SBALZO .....	61
14.1.	Analisi dei carichi.....	61
14.1.1.	Geometria strutturale di calcolo.....	61
14.1.2.	Azioni elementari .....	62
14.1.3.	Combinazioni di carico .....	64
14.2.	Verifica geotecnica .....	65
14.3.	Verifica sezione di incastro.....	67

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01
	Foglio 5 di 68

## 1. PREMESSA

L'intervento in questione è parte integrante del progetto complessivo di collegamento della attuale viabilità che corre lungo la Val Chiaravagna, in Genova, civicamente denominata Via Chiaravagna, con l'attuale viabilità in località Erzelli e lo svincolo sulla A10 Genova Aeroporto, attraverso la realizzazione di un nuovo tratto stradale suddiviso considerato diviso in due distinti tronconi.

Nell'ambito del progetto è prevista una nuova rotatoria su via Melen e le relative delle opere di sostegno necessarie alla sua realizzazione.

## 2. DESCRIZIONE

La rotatoria su Via Melen necessita la realizzazione di un opera di sostegno, al fine di poter impostare il piano viario che, rispetto alla viabilità attuale, deve essere ampliato verso valle nel punto dell'intersezione.

La tipologia che è stata adottata per l'opera di sostegno di sottoscarpa è stata fortemente condizionata dalle caratteristiche morfologiche e geo-tecniche del sito.

Dal punto di vista della morfologia infatti, il versante si presenta fortemente acclive, il che ha fatto nascere l'esigenza di realizzare opere che potessero minimizzare gli sbancamenti del terreno per la creazione del piano di posa delle fondazioni.

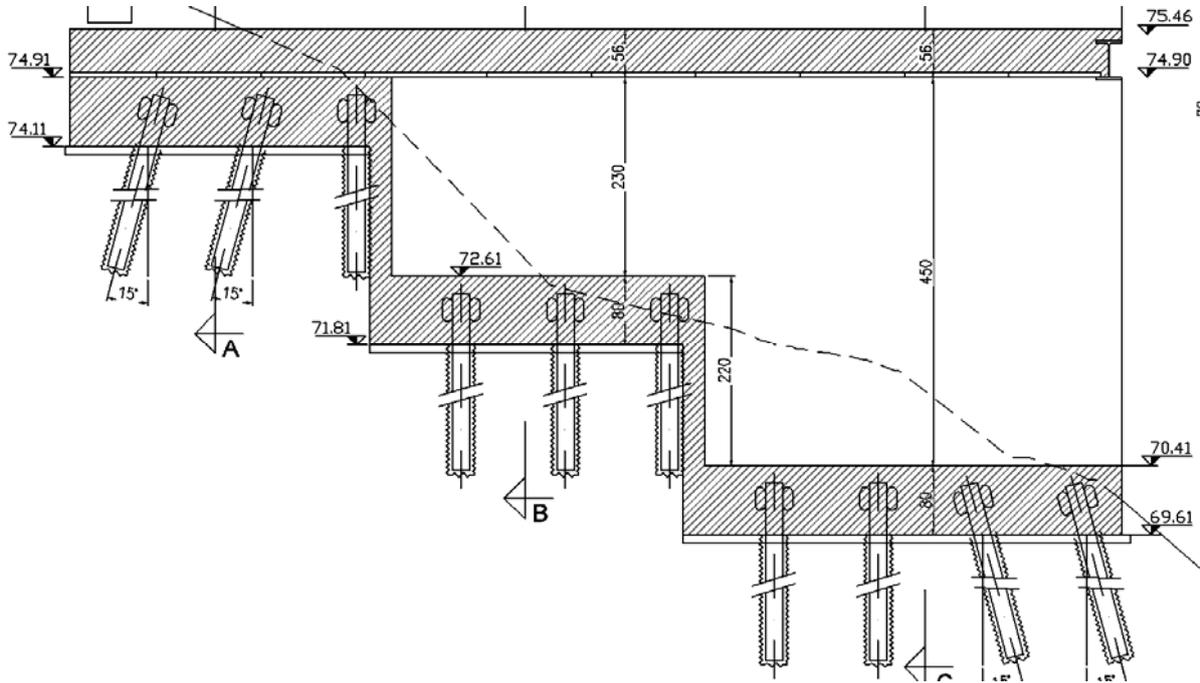
Dal punto di vista della geologia del sito, è stato osservato nonché determinato attraverso sondaggi e rilevamenti geologici di superficie, che gli strati di terreno più superficiali sono costituiti da riporto antropico recente e alterato che ha scarse capacità portanti, il che porta a dover ricorrere a fondazioni di tipo profondo per l'opera di contenimento.

E' stata inoltre rilevata una significativa presenza di circolazione di acque che interessano gli strati degli ammassi più superficiali, e che talvolta si manifesta anche affiorando in superficie; emerge quindi l'esigenza di mantenere inalterato tale equilibrio e non creare opere che possano costituire barriera alterando il comportamento statico della porzione del versante interessato.

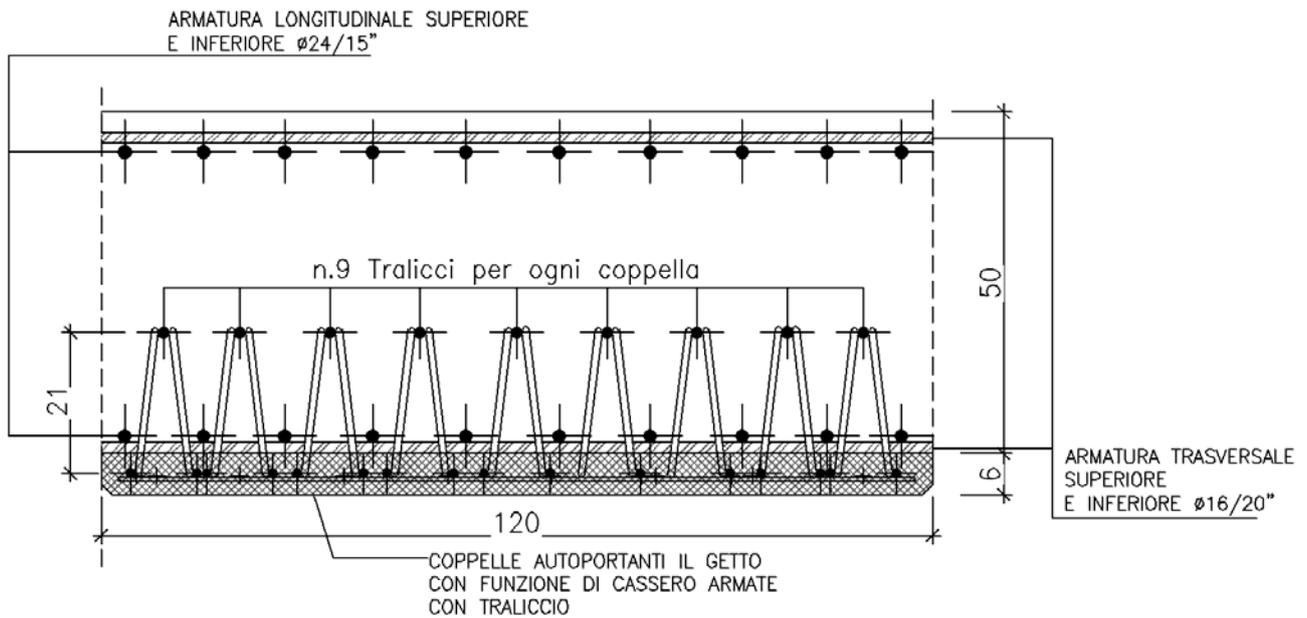
Alla luce delle considerazioni sopra esposte, e a valle delle indagini geologico-geotecniche eseguite nel luglio scorso, l'opera di sostegno della nuova viabilità è concepita come una sorta di viadotto ad impalcato in c.a. sostenuto da setti verticali, sempre in c.a. posti ortogonalmente alla direttrice principale della viabilità, ovvero parallelamente alla massima pendenza di scarpata.

Le fondazioni di tali setti sono su palificata di micropali con perforazione diam. 300mm, di lunghezza pari a 24 m e tali da ricondurre i carichi agenti sul versante trasmettendoli efficacemente al substrato più consistente. Il piano di posa delle fondazioni presenta gradoni che assecondano l'andamento del pendio rendendo minime le opere di scavo da eseguire in via provvisoria e quindi massimizzando le condizioni di sicurezza nelle varie fasi di lavoro.





**Fig. 2: Setto di fondazione**



**Fig. 3: sezione trasversale impalcato**

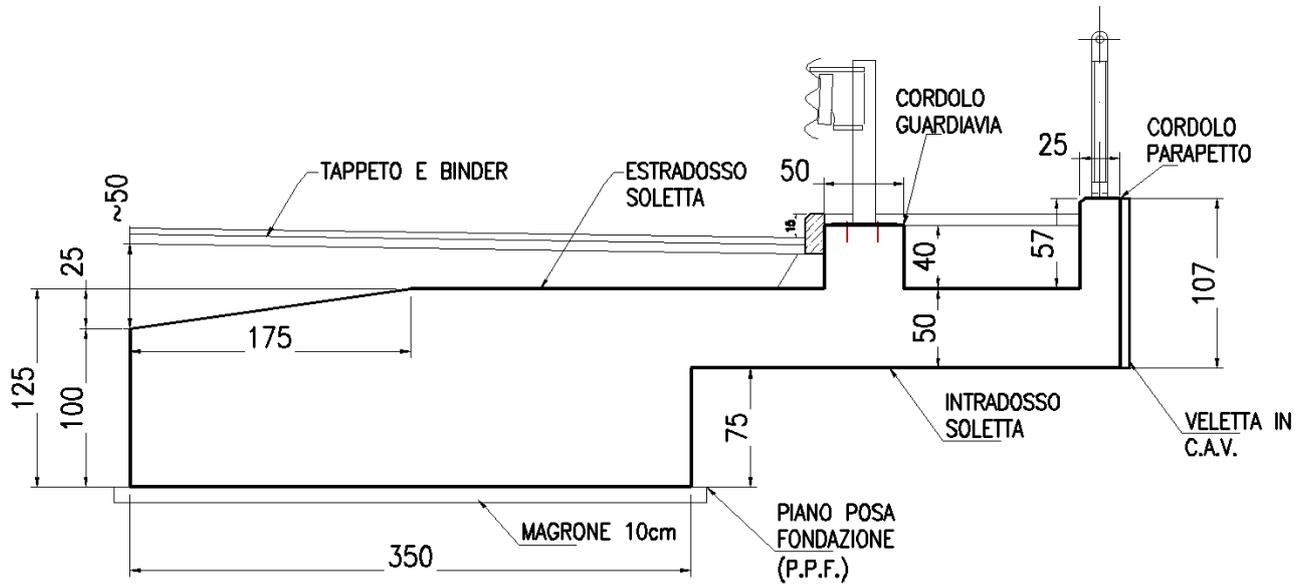


Fig. 4: sezione trasversale soletta a sbalzo

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01</p> <p>Foglio 9 di 68</p>

### 3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- Legge 5 Novembre 1971 N° 1086 – “Norme per la disciplina delle opere in calcestruzzo cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- Legge 2 Febbraio 1974 n.64: “Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- D.M. LL.PP. 9 Gennaio 1996 - “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”;
- Circolare LL.PP. 15 Ottobre 1996 n° 252 AA.GG./S.T.C. – “Istruzioni per l’applicazione delle «Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche» di cui al D.M. 9.01.1996”;
- D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996 -”Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- Circolare LL.PP. 10 Aprile, n° 65/AA.GG. – “Istruzioni per l’applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica» di cui al D.M. 16.01.1996”;
- D.M. 16 Gennaio 1996 - “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”;
- Circolare LL.PP. 4 Luglio 1996 n° 156 AA.GG./S.T.C. – “Istruzioni per l’applicazione delle «Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi» di cui al D.M. 16.01.1996”;
- Decreto Ministero dei LL.PP. 4 Maggio 1990 – “Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo dei ponti stradali”;
- Circolare Ministero LL.PP. N. 34233 (Pers. Cons. Sup. Serv. Tecnico Centrale, 25 febbraio 1991) – “Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali”.
- 
- CNR 10011/97 Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione -
- CNR 10016/2000 Strutture composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 10 di 68</span>

## 4. AZIONE SISMICA

### 4.1. PARAMETRI DI RIFERIMENTO PER LA DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA

Si fa riferimento alla seguente normativa (cui si rimanda per approfondimento e dettagli):

- **D.M. 16/02/96** “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”
- Circolare 10/04/97 n°65/AA.GG. – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche” di cui ad D.M. 16.01.1996
- Ordinanza della protezione civile n.2788 del 12/06/1998 “Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale” GU 146 del 25/06/1998

Nell’analisi in condizioni sismiche è stata recepita l’**OPCM 3274/2003** solo per quanto riguarda la *classificazione sismica* del territorio nazionale.

### 4.2. COEFFICIENTI PER IL CALCOLO DELL’AZIONE SISMICA

#### 4.2.1. Coefficiente di intensità sismica (C)

La normativa di riferimento (DM 16/01/96) prevede che il coefficiente di intensità sismica (C) venga calcolato sulla base della correlazione di cui al seguito (con “S” si indica il *grado di sismicità* del comune):

$$C = \text{coefficiente di intensità sismica} = (S - 2) / 100$$

In analogia a quanto assunto nel progetto definitivo si considera:

$$S = 6$$

$$C = 0.04$$

#### 4.2.2. Coefficiente di fondazione

Il parametro “ $\varepsilon$ ” che definisce gli effetti di amplificazione locale viene definito in accordo alla seguente tabella n.2.2 in funzione delle caratteristiche stratigrafiche del terreno.

Descrizione	$\varepsilon$
Strati superficiali alluvionali di spessore compreso tra 5 e 20m su substrato rigido	1.3
Altri casi	1.0

**Tabella n.2.2 – Coefficiente di fondazione**

Si considera  $\varepsilon = 1.3$ .

#### 4.2.3. Coefficiente di struttura ( $\beta$ )

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 11 di 68</span>

Per il calcolo dell'azione sismica sull'impalcato e sulle sottostrutture nel rispetto delle prescrizioni del DM 4/5/90 trattandosi di strutture a telaio con la soletta solidale con le sottostrutture si è assunto:

$$\beta = 1$$

#### 4.2.4. Coefficiente di protezione sismica (I)

Nel caso delle verifiche degli elementi strutturali, la Norma impone che l'azione sismica venga moltiplicata per un fattore di importanza (I) variabile in funzione del tipo di opera come indicato in tabella n.2.3 di cui al seguito.

Opera	$\gamma_I$
Edifici la cui funzionalità durante il terremoto ha importanza fondamentale per la protezione civile (ospedali, municipi, etc)	1.4
Opere che presentano particolare rischio per le caratteristiche d'uso	1.2
Altri edifici	1.0

**Tabella n.2.3 – Coefficiente di protezione sismica**

In analogia a quanto assunto per opere analoghe facenti parte del medesimo intervento si considera  $I = 1.4$ .

## 5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### Calcestruzzo

Calcestruzzo di magrone	C12/15
Calcestruzzo per fondazioni ed elevazione ponte	C32/40
Calcestruzzo per soletta impalcato	C32/40
Calcestruzzo (malta) per micropali	Rbk>250 daN/cm <sup>2</sup>
Calcestruzzo per cordolo a sbalzo	C32/40

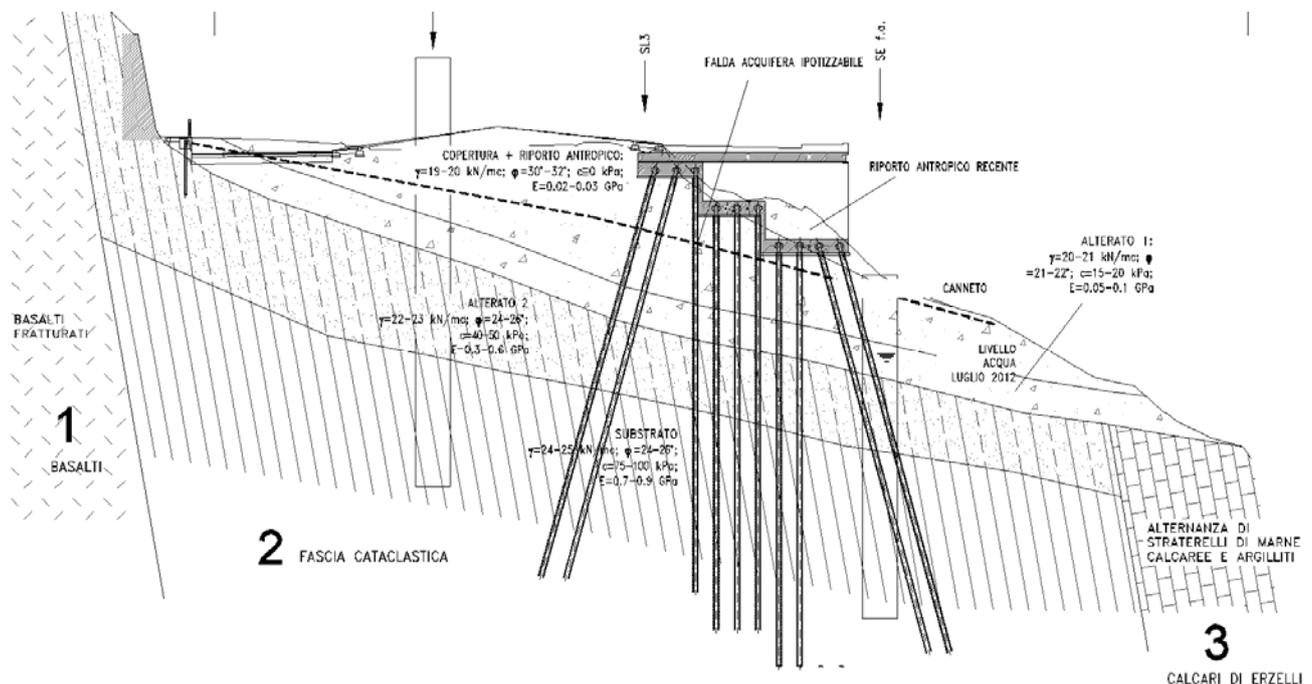
### Acciaio

Acciaio in barre da c.a. ad aderenza migliorata	B450C
Acciaio per elementi in carpenteria metallica, laminati, tubolari e piastrame	S355J2
Acciaio per piolature Nelson	S235 J2G3-C450

## 6. PARAMETRI GEOTECNICI

Per le caratteristiche geologiche e geomeccaniche del terreno, si fa riferimento alla relazione geognostica e geotecnica facente parte degli elaborati di progetto, dalla quale è stata estrapolata la stratigrafia del terreno di riferimento, riportata nella figura seguente, dove sono indicati i parametri meccanici di riferimento per le modellazioni strutturali.

Ai fini del calcolo della palificata è stata considerata la seguente stratigrafia



## Copertura

peso volume:	1900 daN/mc
peso volume saturo:	2000 daN/mc
angolo attrito:	30 °
coesione:	0 daN/cm <sup>2</sup>
spessore:	7 m

## Alterato 1

peso volume:	2000 daN/mc
peso volume saturo:	2100 daN/mc
angolo attrito:	21 °
coesione:	0,15 daN/cm <sup>2</sup>
spessore:	2 m

## Alterato 2

peso volume:	2200 daN/mc
peso volume saturo:	2300 daN/mc
angolo attrito:	24 °
coesione:	0,4 daN/cm <sup>2</sup>
spessore:	4 m

## Alterato 3

peso volume:	2400 daN/mc
peso volume saturo:	2500 daN/mc
angolo attrito:	24 °
coesione:	0,75 daN/cm <sup>2</sup>

## Falda

-3.5 m

## 7. ANALISI DELLE STRUTTURE

### 7.1. Modello di calcolo agli elementi finiti

L'analisi della struttura è stata condotta con l'ausilio del codice di calcolo agli elementi finiti Modest 7.28 con solutore Xfinest.

Per l'analisi strutturale si adotta il metodo dell'analisi statica lineare.

Le unità di misura adottate sono i  $m$  per le lunghezze,  $t$  per le forze e le sollecitazioni,  $t^*m$  per i momenti,  $daN/cm^2$  per le tensioni.

Il modello è costituito da elementi bidimensionali per la soletta, le pile-setti, ed il dado di fondazione mentre elementi beam rappresentano i pali e la trave di coronamento della soletta in acciaio posta sulla parte esterna della rotatoria.

Il modello presenta degli elementi rigidi di collegamento fra i setti e la soletta, mentre i pali di fondazione sono incastrati in sommità e presentano un vincolo a cerniera alla base con appoggio elastico in direzione verticale  $k = 43000/0.329 = 130699 \text{ kg/cm}$ . Per tener conto della reale rigidità dei pali è stata posta nel modello una lunghezza dei pali stessi pari a 5 diametri.

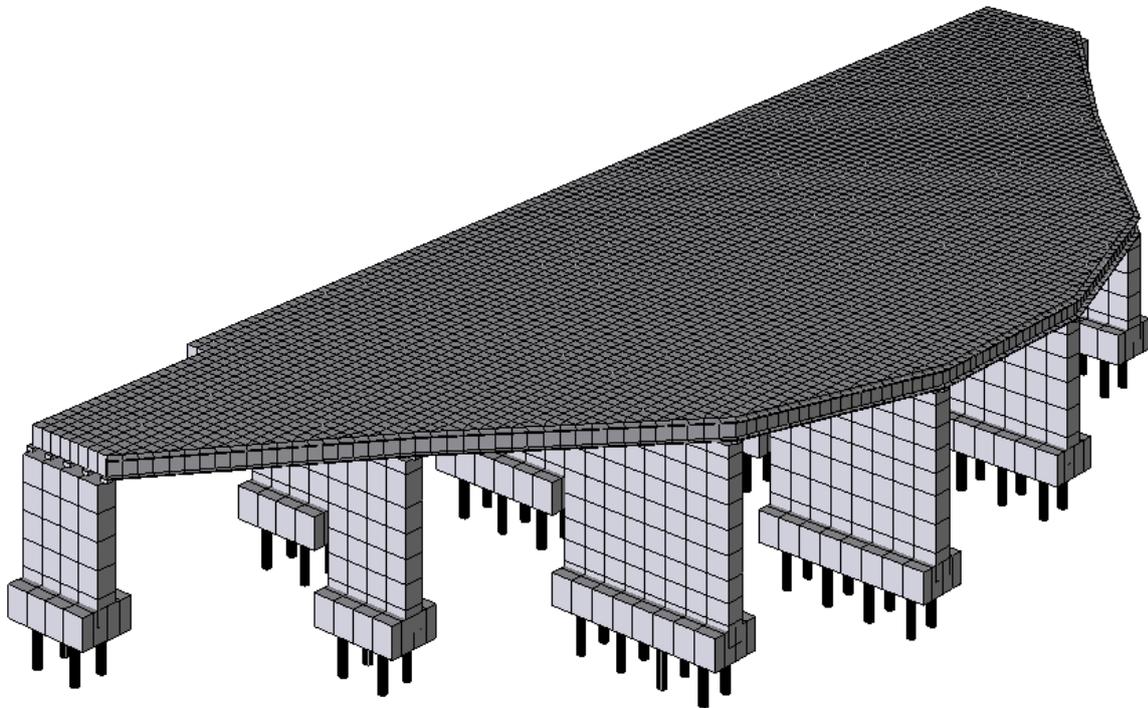


Fig. 5: visualizzazione del modello di calcolo

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01
	Foglio 15 di 68

## 8. ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONE DI CARICO ELEMENTARI

Il viadotto rientra nei ponti di prima categoria, così come previsto dalla normativa vigente. I carichi presi in considerazione sono i seguenti (punto 3 D.M. 4 Maggio 1990):

- g1 - Peso proprio delle strutture
- g2 - Carichi permanenti portati
- ε1 - Distorsioni e presollecitazioni di progetto (azioni assenti)
- ε2 - Ritiro del calcestruzzo
- ε3 - Variazioni termiche
- ε4 - Scorrimenti viscosi (azione assente)
- ε5 - Cedimenti vincolari (azione assente)
- q1 - Carichi mobili
- q2 - Effetto dinamico sui carichi mobili
- q3 - Azioni longitudinali di frenamento
- q4 - Azione centrifuga
- q5 - Azione del vento
- q6 - Azioni sismiche
- q7 - Resistenza parassita dei vincoli (azione assente)
- q8 - Azioni sui parapetti e urto veicoli in svio

### 8.1. CARICHI PERMANENTI (AZIONI DI LUNGA DURATA)

#### 8.1.1. *Peso proprio strutture (g1)*

Il peso proprio strutturale è stato calcolato sulla base dei seguenti valori del peso per unità di volume dei materiali costituenti l'impalcato:

$$\gamma_{\text{acciaio}} = 7.85 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{cls}} = 2.5 \text{ t/m}^3$$

Per quanto riguarda l'applicazione dei carichi sul modello di calcolo dell'impalcato, il peso strutturale viene calcolato automaticamente dal software adottato sulla base delle proprietà geometriche e meccaniche degli elementi modellati.

La combinazione elementare è denominata CCE1.

#### 8.1.2. *Carichi permanenti portati (g2)*

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 16 di 68</span>

Di seguito si riportano i carichi permanenti portati assegnati al modello di calcolo mediante carichi uniformemente distribuiti. Il carico assegnato al ricoprimento tiene conto del carico del guardiavia, del parapetto e dei sottoservizi.

### ***Pavimentazione carreggiata***

Peso specifico	2200 kg/m <sup>3</sup>
spessore medio	0.1 m
Peso al m <sup>2</sup>	220 kg/m <sup>2</sup>

### ***Ricoprimento***

Peso specifico	2200 kg/m <sup>3</sup>
spessore medio	0.4 m
Peso al m <sup>2</sup>	880 kg/m <sup>2</sup>

### ***Predalles***

Peso specifico	2500 kg/m <sup>3</sup>
spessore medio	0.1 m
Peso al m <sup>2</sup>	250 kg/m <sup>2</sup>

**Totale** **1.35 t/m<sup>2</sup>**

La combinazione elementare è denominata CCE2.

### ***8.1.3. Ritiro del calcestruzzo ( $\epsilon_2$ )***

La distorsione da ritiro viene calcolata in funzione dell'età del conglomerato a partire dalla quale si considera l'effetto del ritiro, dell'umidità relativa e della dimensione fittizia  $D = 2A_c / u$ , come indicato al punto 2.1.6 del D.M. 9/01/96:

u.r.	75%		umidità relativa
$t_0$	1÷7	gg	età del cls a partire dalla quale si ha ritiro
$A_c$	6.85	m <sup>2</sup>	area della sezione di cls impalcato
u	28.4	m	perimetro di cls a contatto con l'atmosfera
D	48.24	cm	( $D = 2A_c/u$ )
$\epsilon_{sh}(t_\infty, t_0)$	2.10E-04		

Tale azione viene applicata nel modello di calcolo per mezzo di una variazione termica equivalente determinata come segue:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 17 di 68</span>

$$\Delta T = -\varepsilon / \alpha = -2.10E-04 / 1.2E-5 = -17.5^\circ$$

#### 8.1.4. Variazioni termiche ( $\varepsilon_3$ )

Seguendo la normativa sui carichi (D.M. 16.01.96) si considera un gradiente termico per la soletta di impalcato di  $\pm 10^\circ\text{C}$ .

I carichi termici uniformemente distribuiti relativi alle variazioni termiche uniformi e al ritiro nel calcestruzzo vengono assegnati in un'unica condizione di carico considerando la variazione termica pari alla somma dei due valori:

$$\Delta T = -10 - 17.5 = -27.5^\circ$$

La combinazione elementare è denominata CCE11. (ritiro + termica)

## 8.2. CARICHI ACCIDENTALI (AZIONI DI BREVE DURATA)

### 8.2.1. Carichi mobili ( $q_1$ )

In accordo al paragrafo 3.4 del DM 4/5/90, sono stati assunti i seguenti carichi mobili da traffico:

- q1a mezzo convenzionale da 600 kN a tre assi;
- q1b carico uniformemente ripartito pari a 30 kN/m disposto in asse alla corsia convenzionale di carico;
- q1c Carico isolato da 100 kN con impronta quadrata di lato 0.3 m;
- q1d Carico isolato da 10 kN con impronta quadrata di lato 0.7 m;
- q1e Carico folla uniformemente ripartito pari a 4 kN/m<sup>2</sup>;

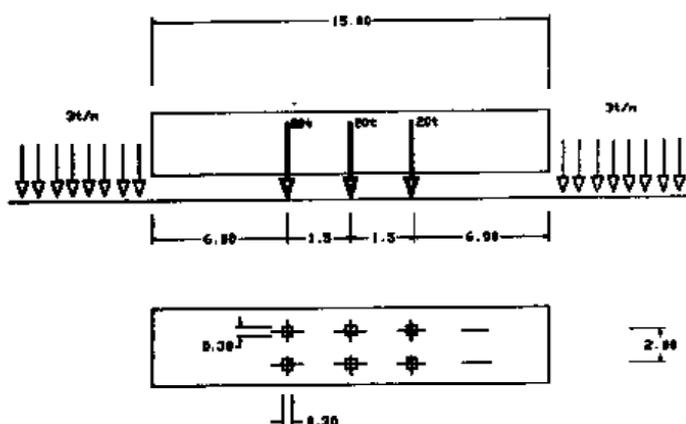


Fig. 6: disposizione schematica dei carichi q1a e q1b

La larghezza della corsia convenzionale di carico è pari a 3,50 m.

In considerazione della larghezza della carreggiata, si considerano tre colonne di carico:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01
	Foglio 18 di 68

la prima colonna è costituita dal carico q1a e, al di fuori dell'ingombro di questo, da uno o più tratti del carico q1b, disposti nella posizione più sfavorevole lungo la corsia di carico;

la seconda colonna è analoga alla precedente, ma con carichi ridotti al 50% del carico q1a ed al 50% del carico q1b;

la terza colonna, analoga alle precedenti, ma con carichi ridotti al 35% del carico q1a ed al 35% del carico q1b;

carico q1e sui marciapiedi.

### 8.2.2. Effetto dinamico dei carichi mobili (q2)

Considerando la luce del ponte pari a 6 metri la normativa dispone l'utilizzo del coefficiente di incremento dinamico dei carichi mobili pari a:

$$\phi = 1,4$$

### 8.2.3. Carichi applicati al modello

Nel modello sono state definite 4 condizioni di carico elementari al fine di massimizzare le sollecitazioni nella struttura per le diverse verifiche necessarie.

Si considera che il carico di impronta 0.3\*0.3m sia ripartito su un impronta di 0.6\*0.6m al livello della mezzeria della soletta da cui si ottengono i valori:

$$q1a = 10 \text{ t} / (0.6 * 0.6) = 27.78 \text{ t/mq}$$

$$q1b = 3 \text{ t} / 3.5 = 0.86 \text{ t/mq}$$

Considerando I coefficienti moltiplicativi dell'effetto dinamico e quelli riduttivi relativi alla seconda e terza colonna di carico otteniamo i valori:

$$1 \text{ colonna: } q1a = 27.78 * 1 * 1.4 = 38.90 \text{ t/mq}$$

$$2 \text{ colonna: } q1a = 27.78 * 0.5 * 1.4 = 19.45 \text{ t/mq}$$

$$3 \text{ colonna: } q1a = 27.78 * 0.35 * 1.4 = 13.62 \text{ t/mq}$$

$$q1b = 0.86 * 1.4 = 1.2 \text{ t/mq} \quad (\text{carico considerato a vantaggio di sicurezza non affetto dai coefficienti riduttivi della seconda e terza colonna})$$

Si riporta di seguito la geometria di carico per le 4 condizioni.

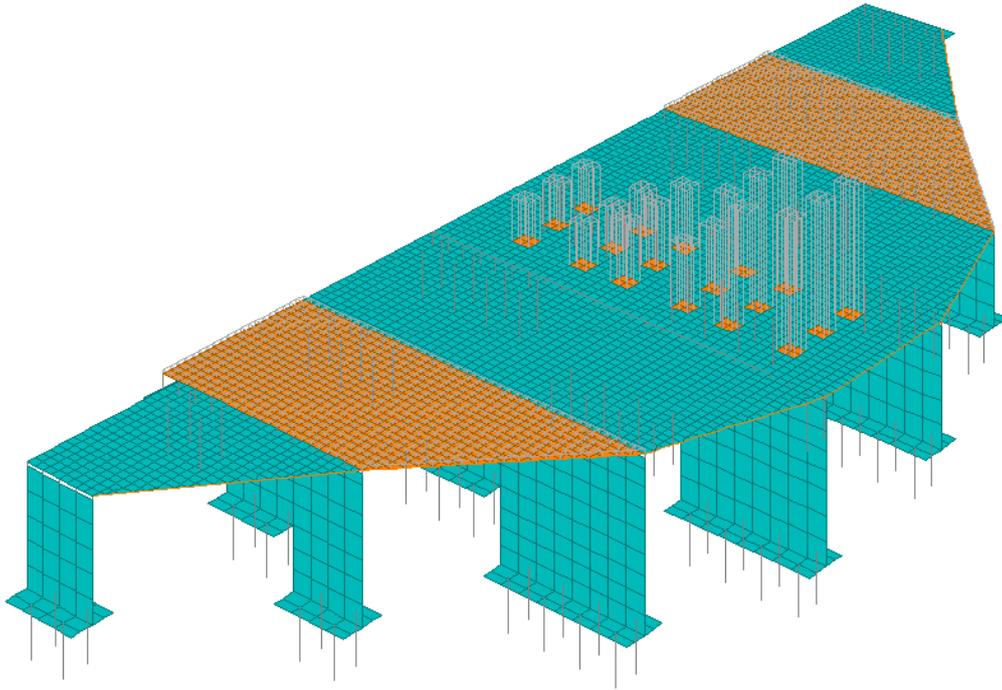


Fig. 7: CC3 - Massimizza il momento positivo in campata e negativo sull'appoggio

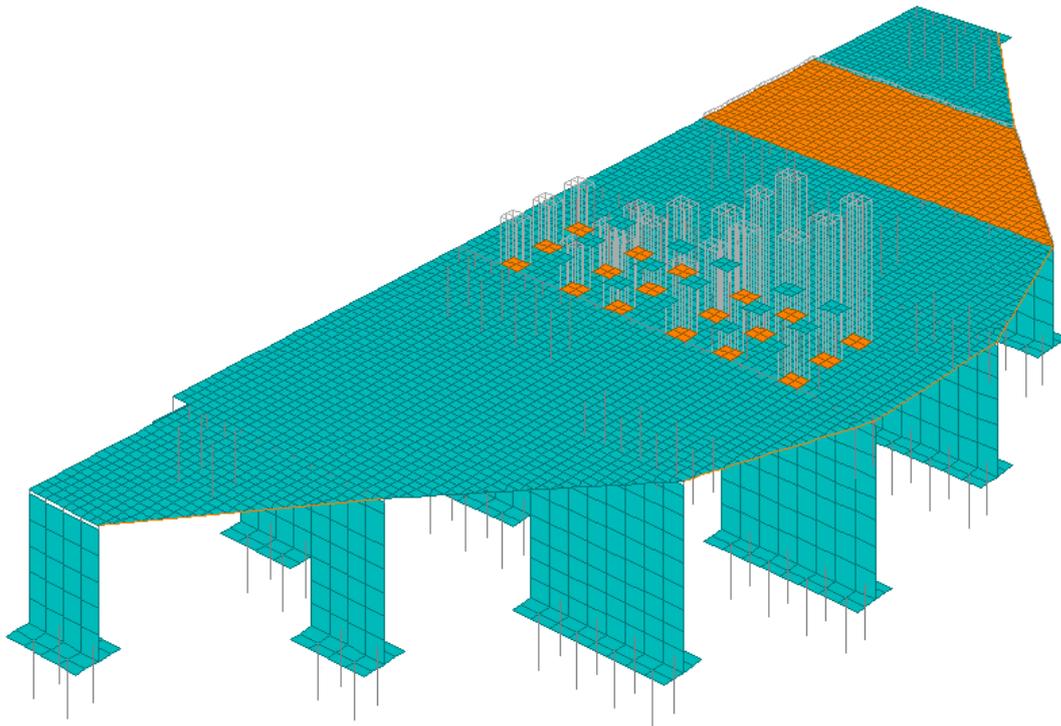


Fig. 8: CC4 - Massimizza il taglio nella soletta

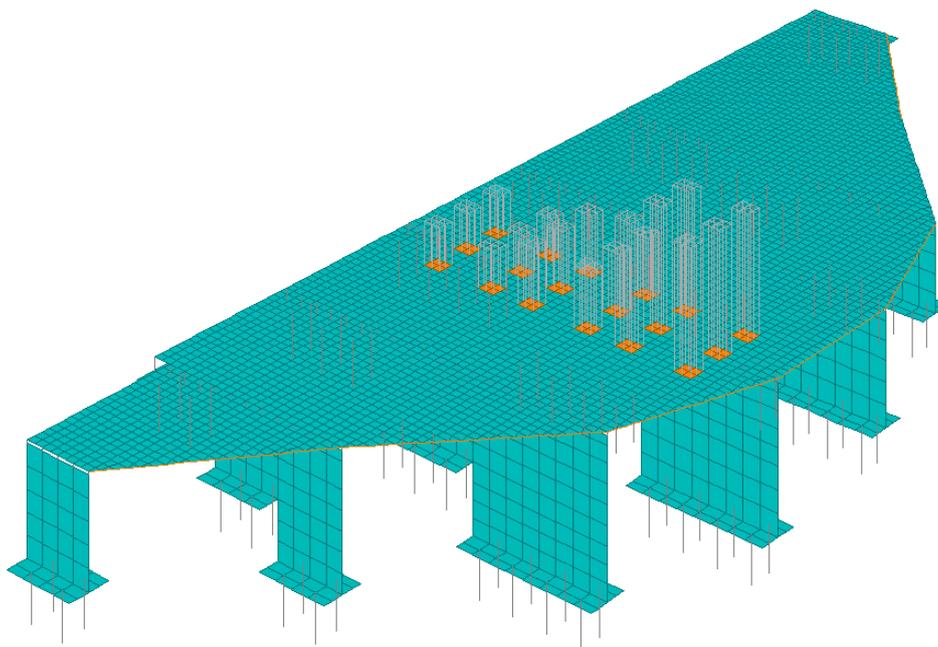


Fig. 9: CC5 - Massimizza il carico in fondazione

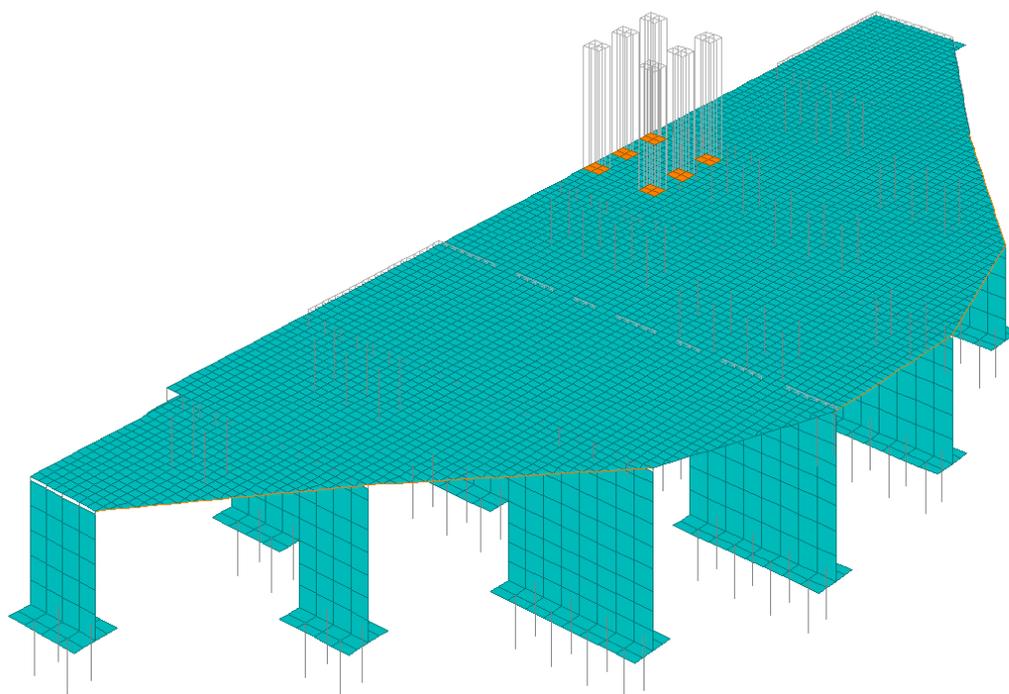


Fig. 10: CC6 - Massimizza il momento positivo in campata sul bordo libero della soletta

### 8.2.4. Azioni longitudinali di frenamento (q3)

La forza di frenamento si assume agente nella direzione dell' asse della strada ed al livello della superficie stradale, con intensita' pari ad 1/10 della singola colonna di carico piu' pesante per ciascuna carreggiata. Essa deve comunque risultare non inferiore al 20% del totale del carico q1.a che può interessare la struttura

Considerando la lunghezza massima della corsia pari a 44 m si ottiene:

- 1/10 della colonna più pesante \_\_\_\_\_  $1/10*(44-9)*3+60 = 10.5 \text{ t}$
- 20%\*q1a \_\_\_\_\_  $60*(1+0.5+0.35)*20\% = 22.2 \text{ t}$

Il massimo fra i valori calcolati è pari a 22.2 t

Al modello è stato assegnato un carico distribuito sull'asta in mezzeria della soletta di lunghezza pari a 6 metri:

$$22.2/6 = 1.85 \text{ t/m}$$

La combinazione elementare è denominata CCE7

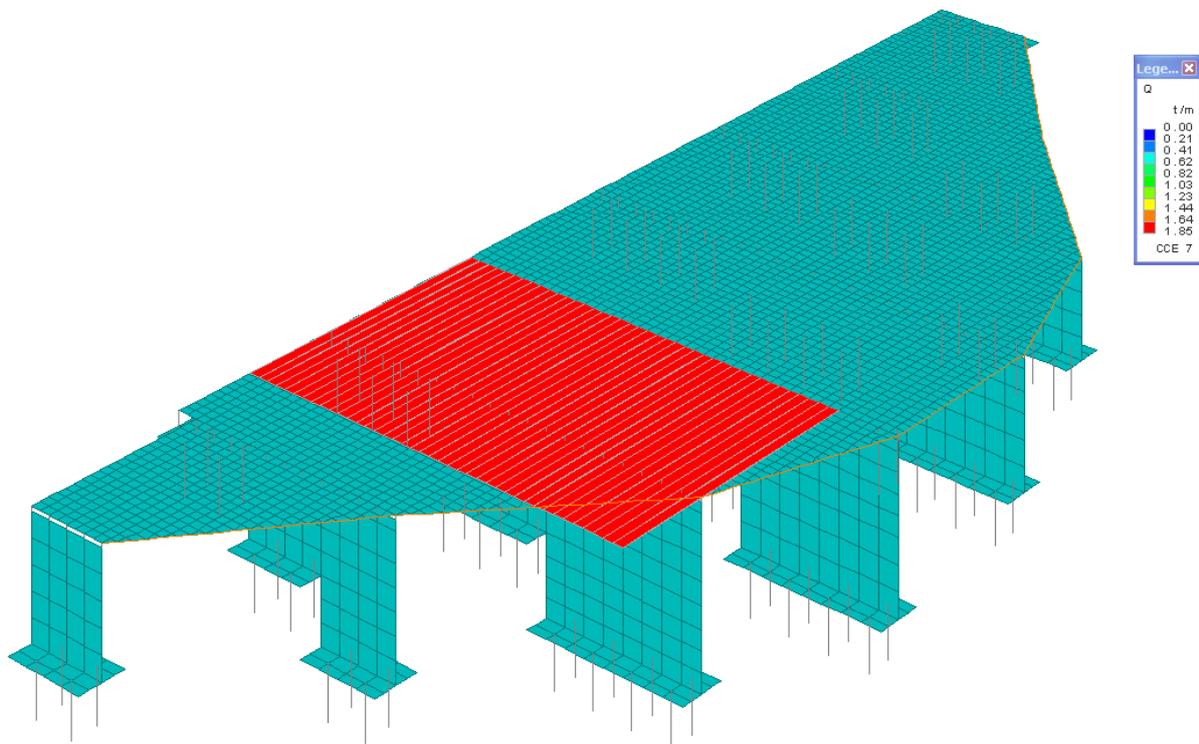


Fig. 11: CC7 - Frenamento

### 8.2.5. Azione centrifuga (q4)

Considerando che il raggio della rotatoria massimo è minore di 60 m la normativa dispone che il valore dell'azione centrifuga è pari a:

$0.5 \cdot (1 + 0.5 + 0.35) = 0.925 \text{ t/m}$  applicata ad 1 m dal piano viabile.

Pertanto otteniamo:

$$F = 0.925 \cdot t/m$$

$$M = 0.925 \cdot (1 + 0.5 + 0.5/2) = 0.925 \cdot 1.75 = 1.62 \text{ t} \cdot m$$

Considerando il passo dei nodi pari a 30 cm nel modello sono stati assegnati i seguenti carichi nodali:

$$F = 0.925 \cdot 0.3 = 0.28 \text{ t}$$

$$M = 1.62 \cdot 0.3 = 0.486 \text{ t} \cdot m$$

La combinazione elementare è denominata CCE8

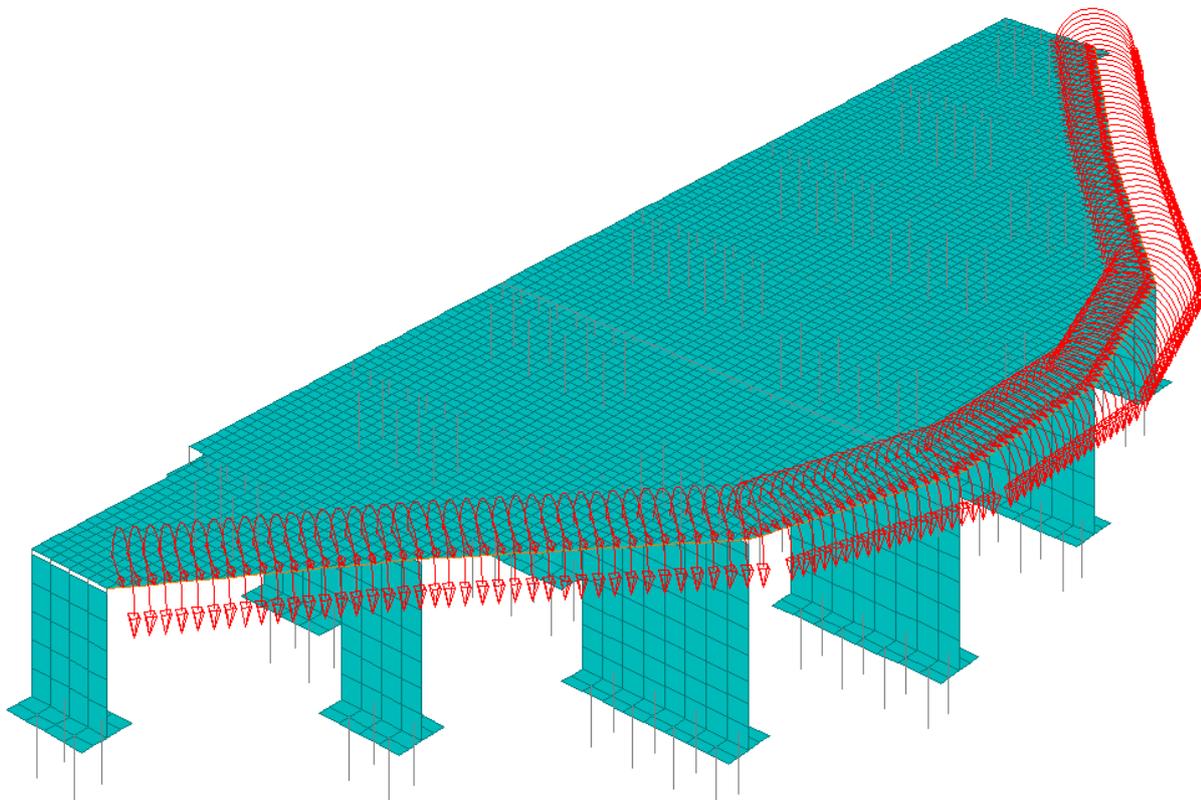


Fig. 12: CC8 - Azione Centrifuga

### 8.2.6. Azione del vento ( $q_5$ )

L'azione del vento può essere convenzionalmente assimilata ad un carico orizzontale statico, diretto ortogonalmente all'asse del ponte, agente sulla proiezione, nel piano verticale, delle superfici direttamente investite dal vento.

Per tale carico si assume un valore pari a  $250 \text{ kg/m}^2$ . La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento si assimila ad una parete rettangolare continua dell'altezza di 3 m a partire dal piano stradale.

$$F = 0.25 \cdot 3 = 0.75 \text{ t/m}$$

$$M = 0.75 \cdot (1.5 + 0.5 + 0.5/2) = 0.75 \cdot 2.25 = 1.69 \text{ t} \cdot \text{m}$$

Considerando il passo dei nodi pari a 30 cm nel modello sono stati assegnati i seguenti carichi nodali:

$$F = 0.75 \cdot 0.3 = 0.225 \text{ t}$$

$$M = 1.69 \cdot 0.3 = 0.507 \text{ t} \cdot \text{m}$$

La combinazione elementare è denominata CCE9

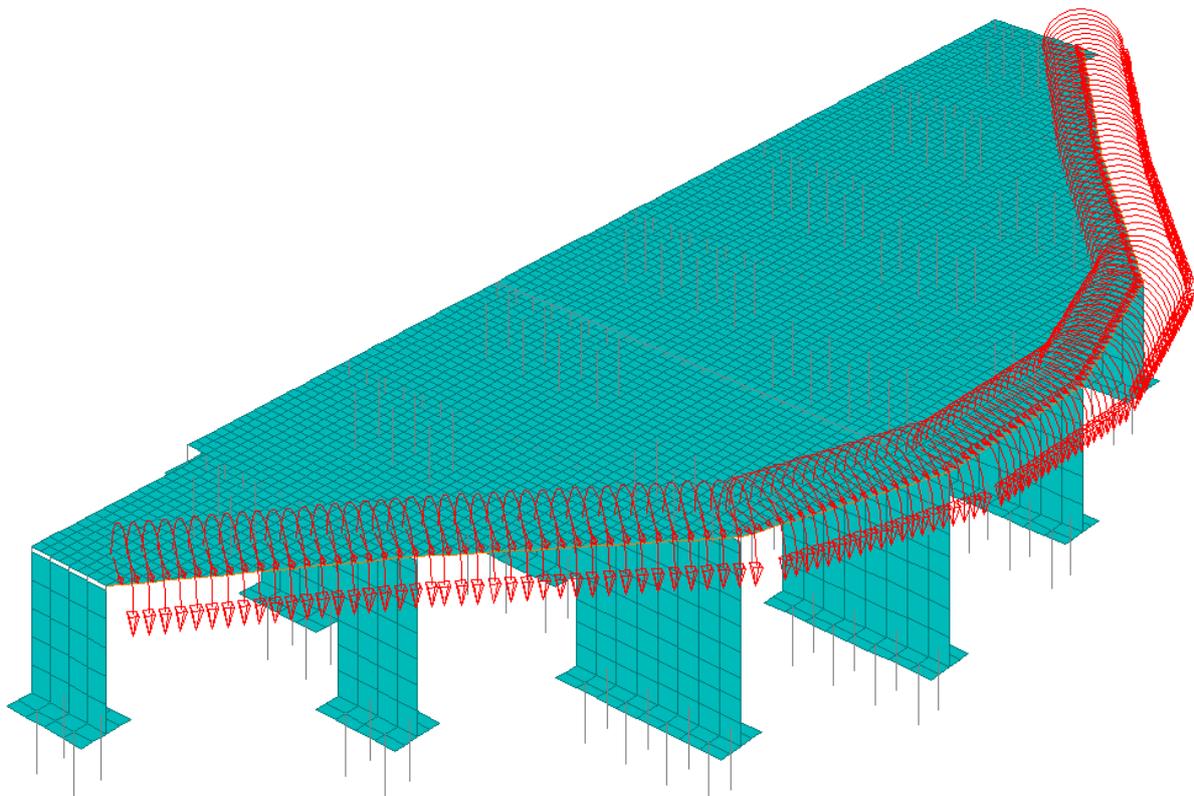


Fig. 13: CC9 - Vento

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 24 di 68</span>

### 8.3. AZIONI ECCEZIONALI

#### 8.3.1. Azione sismica (q6)

Le masse sismiche sono quelle corrispondenti alla somma del peso proprio strutturale e dei carichi permanenti portati.

Azione sismica per il calcolo dell'impalcato e delle sottostrutture:

S	6
C	0.04
R	1
$\varepsilon$	1.3
$\beta$	1
I	1.4

L'azione sismica è considerata automaticamente dal solutore di calcolo.

#### 8.3.2. Azioni sui parapetti (q8)

L'azione sui parapetti è assimilata ad un carico uniformemente distribuito orizzontale pari a 1.3 kN/m applicato al corrimano.

#### 8.3.3. Urto di un veicolo in svio (q8)

I sicurvia e gli elementi strutturali a cui sono collegati vengono dimensionati per una forza orizzontale trasversale pari a 4.5t applicata a 0,60 m dal piano viario. Simultaneamente sui montanti viene applicata una forza orizzontale longitudinale pari a 3t.

$$F_x = 3t$$

$$F_y = 4.5t$$

$$M = 4.5 \cdot (0.6 + 0.5 + 0.5/2) = 4.5 \cdot 1.35 = 6.08 \text{ t} \cdot \text{m}$$

I carichi sopra citati vengono assegnati nel modello di calcolo ai nodi dell'asta centrale di lunghezza pari a 6 m disposti al passo di 30 cm:

$$F_x = 3 / (6 / 0.3) = 0.15 \text{ t}$$

$$F_y = 4.5 / (6 / 0.3) = 0.225 \text{ t}$$

$$M = 6.08 / (6 / 0.3) = 0.31 \text{ t} \cdot \text{m}$$

La combinazione elementare è denominata CCE10

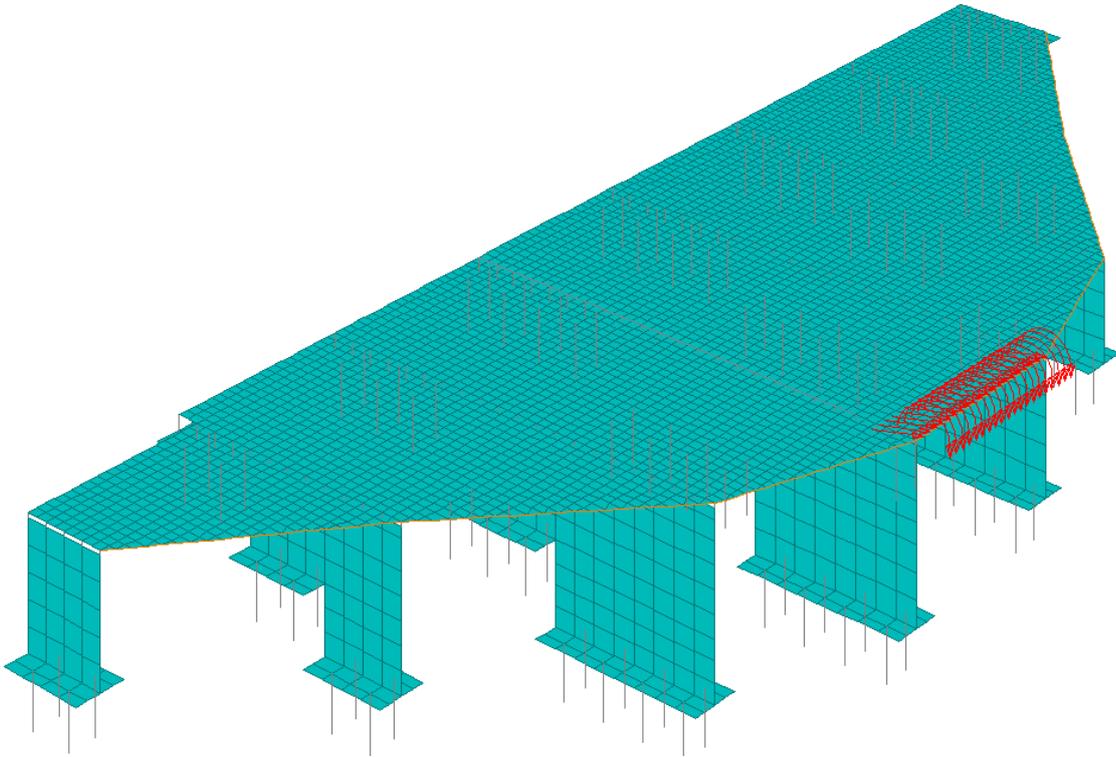


Fig. 14: CC10 - Urto

Si riporta infine una tabella riepilogativa delle condizioni di carico elementari.

#### 8.4. CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa delle condizioni di carico elementari

CCE	Comm.	Mx	My	Mz	Jpx	Jpy	Jpz
1	PStrutturale	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2	PPortato	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
3	MaxMomMezz	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
4	MaxTagApp	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
5	MaxCompPalo	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
6	VerSoletEstremita	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
7	frenamento	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
8	Centrifuga	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
9	Vento	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
10	Urto	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
11	Variazioni termiche e ritiro	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 26 di 68</span>

## 9. COMBINAZIONI DI CARICO

Si riportano le tabelle dei coefficienti di combinazione previsti dalla normativa al paragrafo 3.13 del DM 4/5/90

### 9.1. Combinazioni per gli stati limite ultimi

	g1	g2	g3	ε1	ε2	ε3	ε4	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9
<b>UI</b>	1.5 (1.0)	1.5 (1.0)	1.5 (β2)	1.2 (0.85)	1.2 (0)	1.2 (0)	1.2 (0)	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	1.5
<b>UII</b>	1.5 (1.0)	1.5 (1.0)	1.5 (β2)	1.2 (0.85)	1.2 (0)	1.2 (0)	1.2 (0)	1.5	1.5	0	0	0.9	0	1.5	1.5	1.5
<b>UIII</b>	1.5 (1.0)	1.5 (1.0)	1.5 (β2)	1.2 (0.85)	1.2 (0)	1.2 (0)	1.2 (0)	1.5	1.5	1.5	0	0.3	0	1.5	1.5	1.5
<b>UIV</b>	1.5 (1.0)	1.5 (1.0)	1.5 (β2)	1.2 (0.85)	1.2 (0)	1.2 (0)	1.2 (0)	1.5	1.5	0	1.5	0.3	0	1.5	1.5	1.5

$\beta_2 = 0.5$  per spinta delle terre

### 9.2. Combinazioni sismiche

	g1	g2	g3	ε1	ε2	ε3	ε4	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9
<b>AV</b>	1	1	1 (β1)	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0

$\beta_1 = 0.7$  per spinta delle terre

### 9.3. Combinazioni per gli stati limite di esercizio

	g1	g2	g3	ε1	ε2	ε3	ε4	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9
<b>FI</b>	1	1	1 (β1)	1	1	1	1	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0
<b>FII</b>	1	1	1 (β1)	1	1	1	1	ψ1	ψ1	0	0	0	0	0	0	0
<b>FIII</b>	1	1	1 (β1)	1	1	1	1	ψ2	ψ2	0	0	0	0	0	0	0
<b>AII</b>	1	1	1 (β1)	1	1	1	1	1	1	0	0	0.4	0	1	1	1

$\beta_1 = 0.7$  per spinta delle terre

$\psi_1 = 0.9$

$\psi_2 = 0.6$

Nella tabella seguente si riporta la tabella riepilogativa delle combinazioni di carico considerate.

CC		CCE1	CCE2	CCE3	CCE4	CCE5	CCE6	CCE7	CCE8	CCE9	CCE10	CCE11	SISMA	SISMA
		P.Struttura	P.Portato	C.Mobile	C.Mobile	C.Mobile	C.Mobile	fren	centr	vento	urto	Ter-rit	sisma X	sisma y
		g1	g2	q1-q2	q1-q2	q1-q2	q1-q2	q3	q4	q5	q8	+1-+2	q6	q6
1	U1	1.5	1.5							1.5	1.5	1.2		
2	U2	1.5	1.5	1.5						0.9	1.5	1.2		
3	U2	1.5	1.5		1.5					0.9	1.5	1.2		
4	U2	1.5	1.5			1.5				0.9	1.5	1.2		
5	U2	1.5	1.5				1.5			0.9	1.5	1.2		
6	U3	1.5	1.5	1.5				1.5		0.3	1.5	1.2		
7	U3	1.5	1.5		1.5			1.5		0.3	1.5	1.2		
8	U3	1.5	1.5			1.5		1.5		0.3	1.5	1.2		
9	U3	1.5	1.5				1.5	1.5		0.3	1.5	1.2		
10	U4	1.5	1.5	1.5					1.5	0.3	1.5	1.2		
11	U4	1.5	1.5		1.5				1.5	0.3	1.5	1.2		
12	U4	1.5	1.5			1.5			1.5	0.3	1.5	1.2		
13	U4	1.5	1.5				1.5		1.5	0.3	1.5	1.2		
14	U1	1	1							1.5	1.5	1.2		
15	U2	1	1	1.5						0.9	1.5	1.2		
16	U2	1	1		1.5					0.9	1.5	1.2		
17	U2	1	1			1.5				0.9	1.5	1.2		
18	U2	1	1				1.5			0.9	1.5	1.2		
19	U3	1	1	1.5				1.5		0.3	1.5	1.2		
20	U3	1	1		1.5			1.5		0.3	1.5	1.2		
21	U3	1	1			1.5		1.5		0.3	1.5	1.2		
22	U3	1	1				1.5	1.5		0.3	1.5	1.2		
23	U4	1	1	1.5					1.5	0.3	1.5	1.2		
24	U4	1	1		1.5				1.5	0.3	1.5	1.2		
25	U4	1	1			1.5			1.5	0.3	1.5	1.2		
26	U4	1	1				1.5		1.5	0.3	1.5	1.2		
27	F1	1	1							0.4		1		
28	F2	1	1	1								1		
29	F2	1	1		1							1		
30	F2	1	1			1						1		
31	F2	1	1				1					1		
32	F3	1	1	0.7								1		
33	F3	1	1		0.7							1		
34	F3	1	1			0.7						1		
35	F3	1	1				0.7					1		
36	S	1	1									1	1	
37	S	1	1									1	-1	
38	S	1	1									1		1
39	S	1	1									1		-1

#### 9.4. Criterio di verifica

Il dimensionamento e la verifica delle strutture è eseguito secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite, in accordo al DM 9/01/96.

Si effettuano le verifiche di apertura delle fessure con riferimento alle combinazioni di carico FI, FII ed FIII riportate nel punto 3.13 del DM 4/5/90 adottando i seguenti limiti per l'apertura teorica delle fessure:

- 0.1 mm in ambiente aggressivo (per combinazioni FI ed FIII)
- 0.2 mm in ambiente aggressivo (per combinazioni FII)

## 10. CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE

Si riportano i diagrammi delle tensioni principali per ogni condizione di carico elementare

### 10.1. SOLLECITAZIONI NEGLI ELEMENTI BIDIMENSIONALI

#### Peso proprio – CCE1

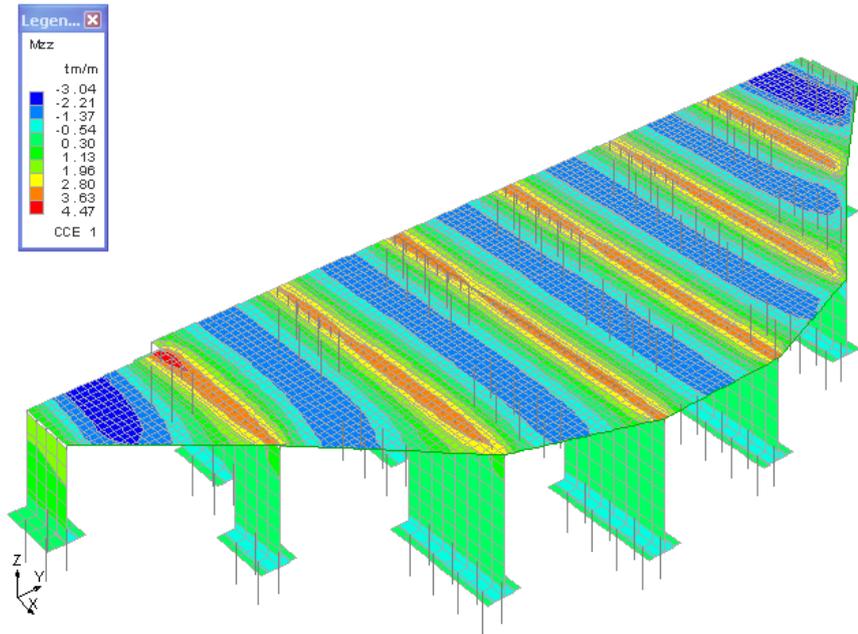


Fig. 15: diagramma Mzz

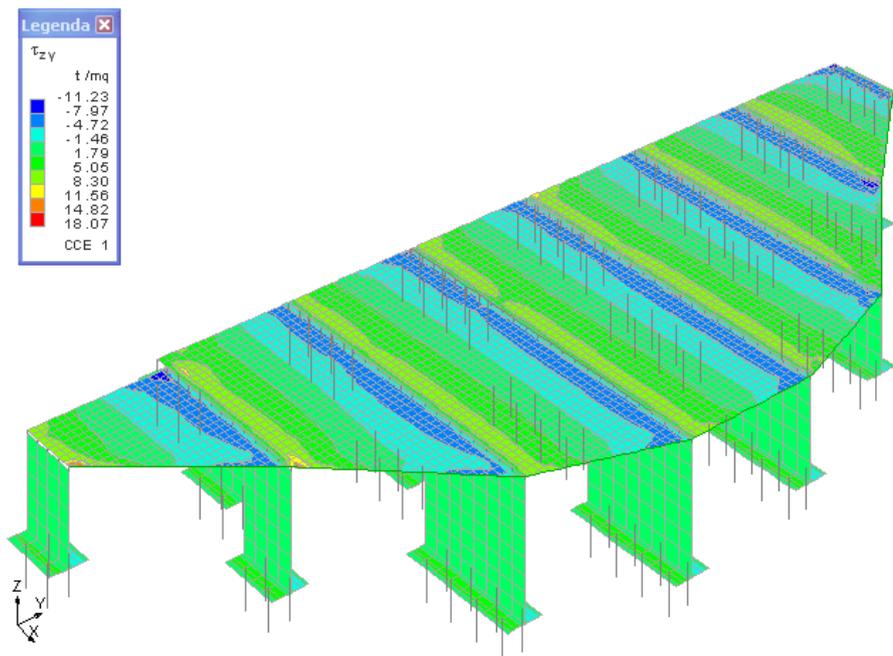
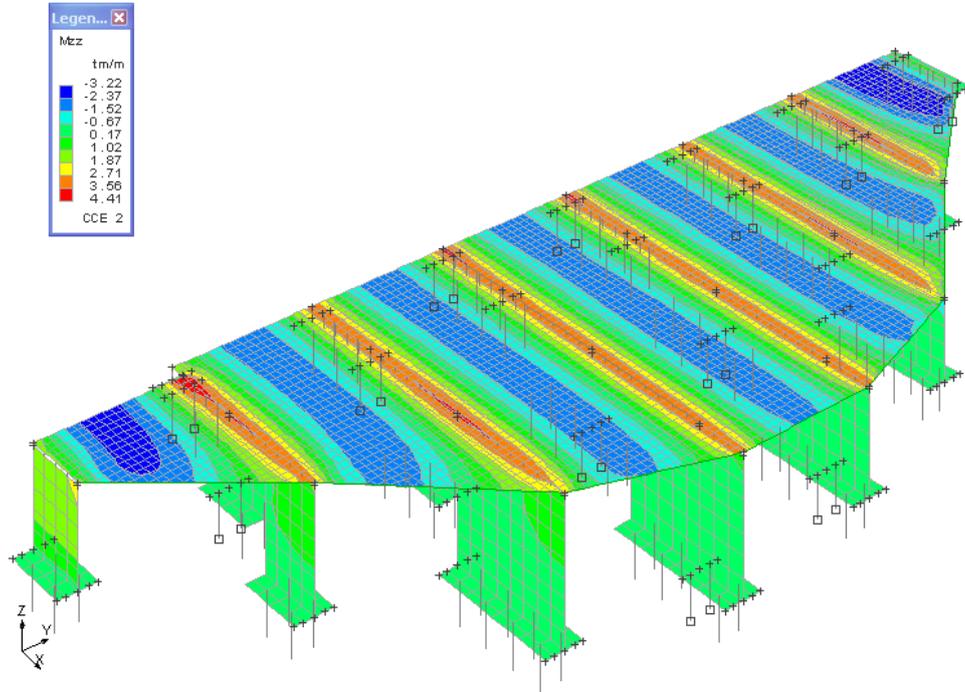
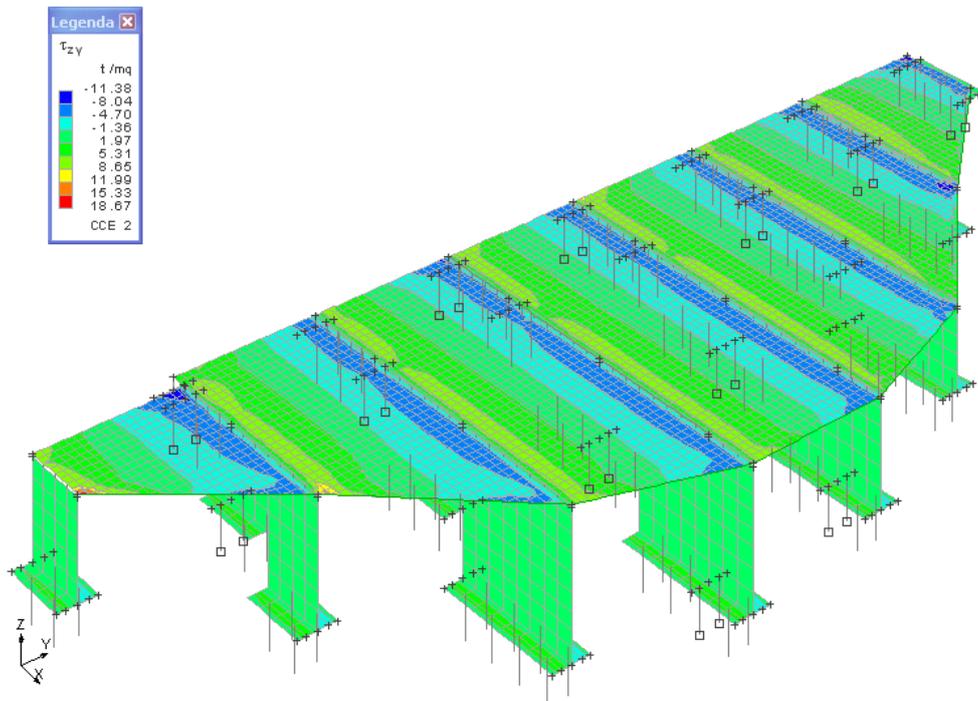


Fig. 16: diagramma Tzy

Peso permanente portato – CCE2



**Fig. 17: diagramma Mzz**



**Fig. 18: diagramma Tzy**

Max momento in mezzeria – CCE3

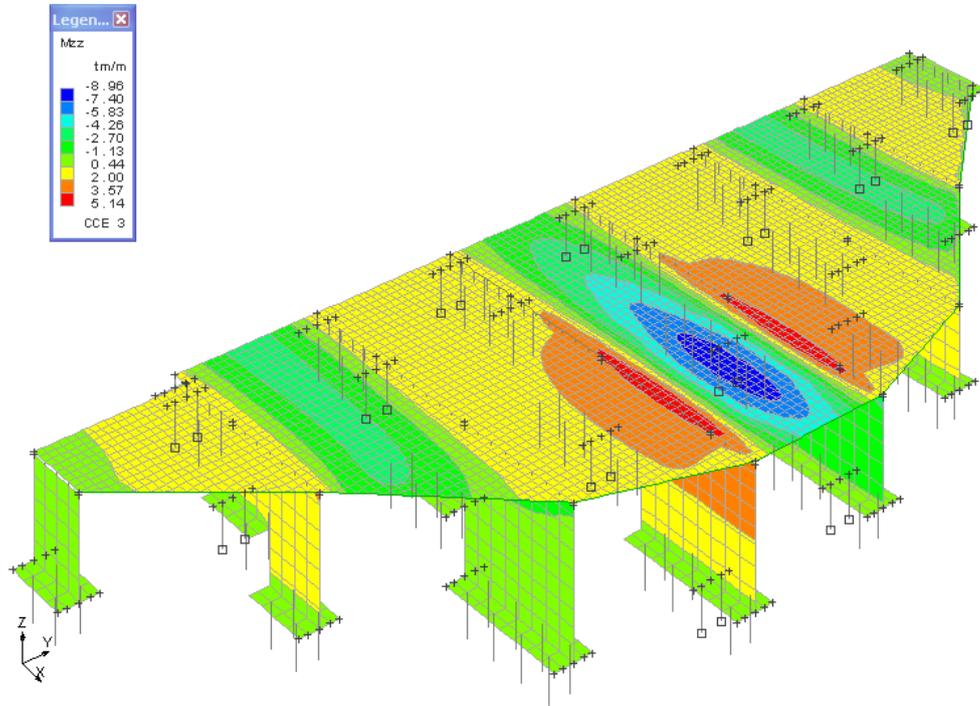


Fig. 19: diagramma Mzz

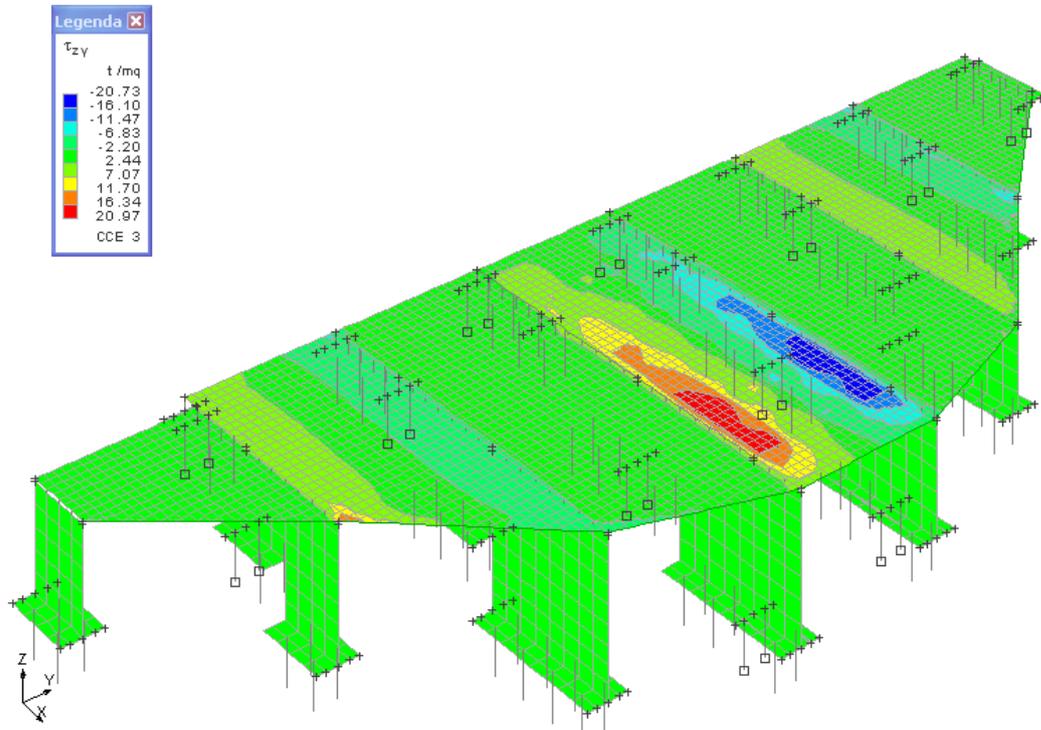
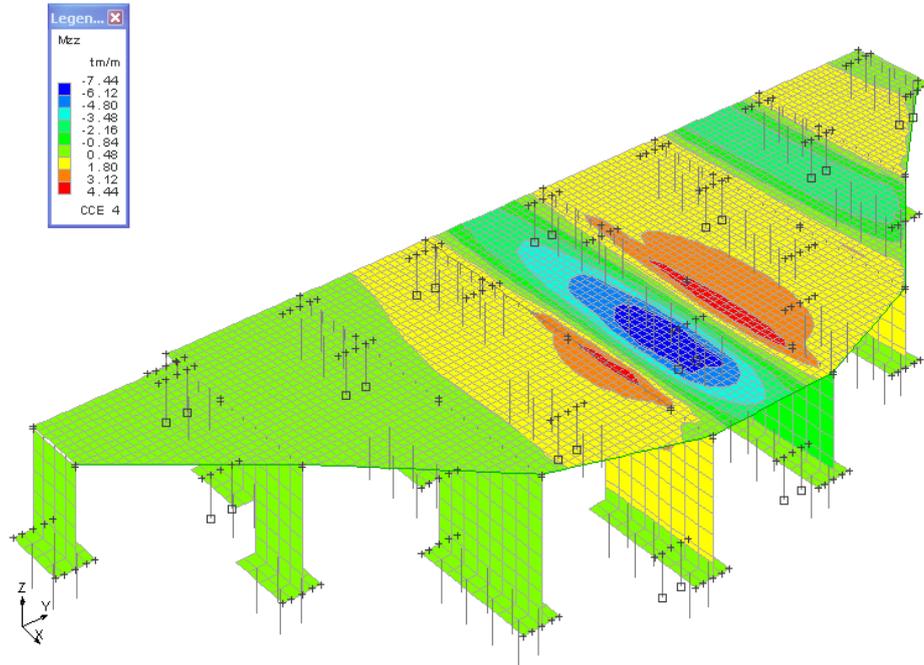
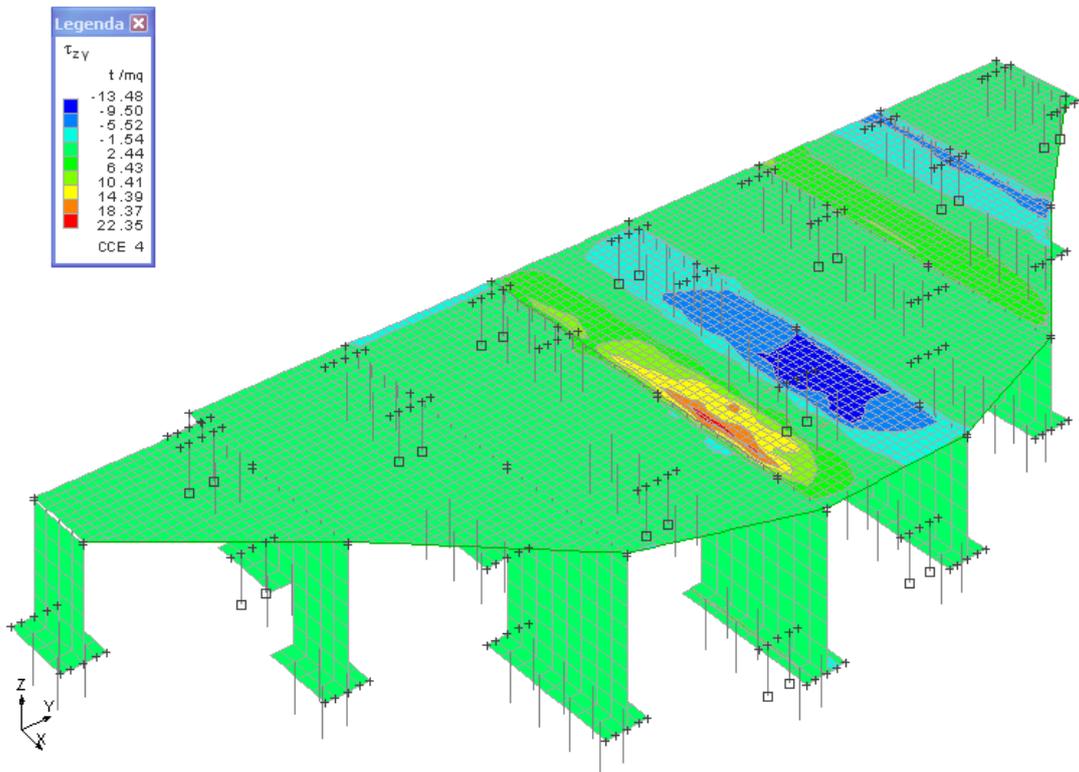


Fig. 20: diagramma Tzy

Max Taglio appoggio – CCE4



**Fig. 21: diagramma Mzz**



**Fig. 22: diagramma Tzy**

Max compressione sul palo - CCE5

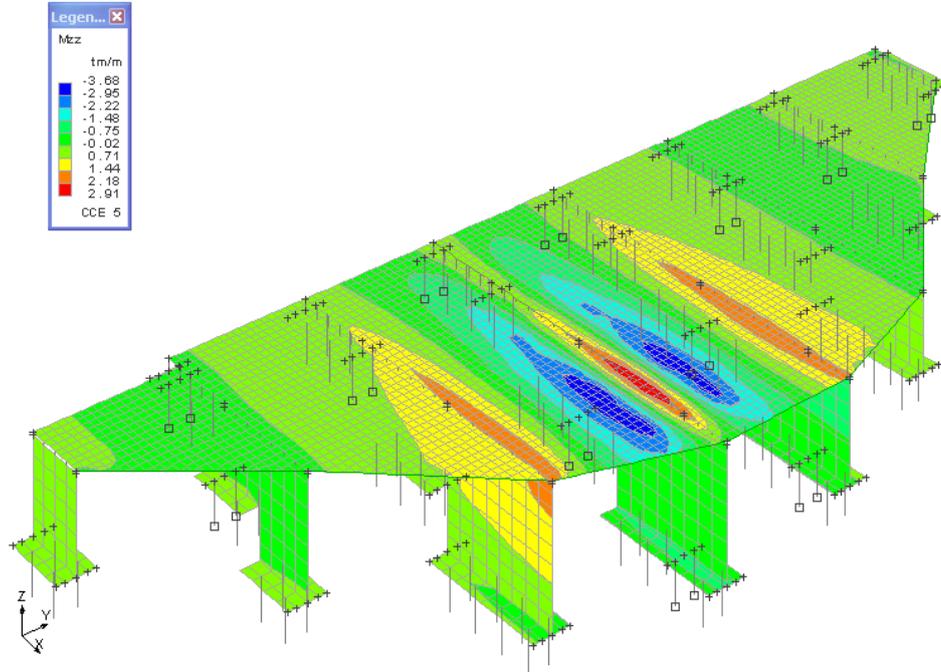


Fig. 23: diagramma Mzz

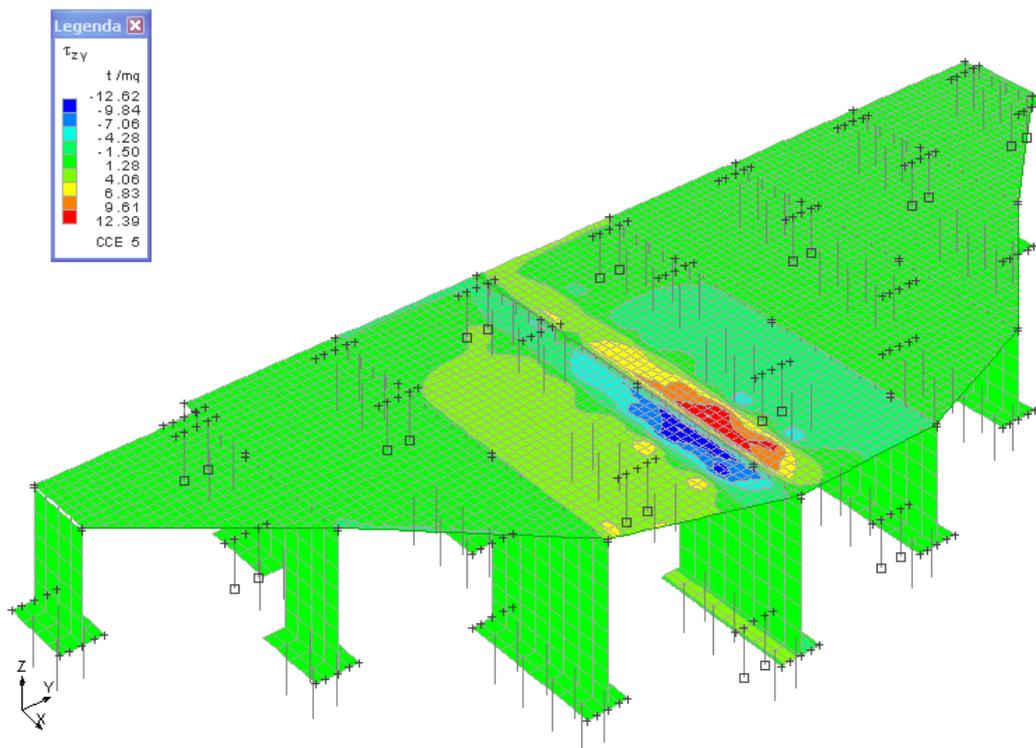


Fig. 24: diagramma Tzy

Verifica soletta la interno - CCE6

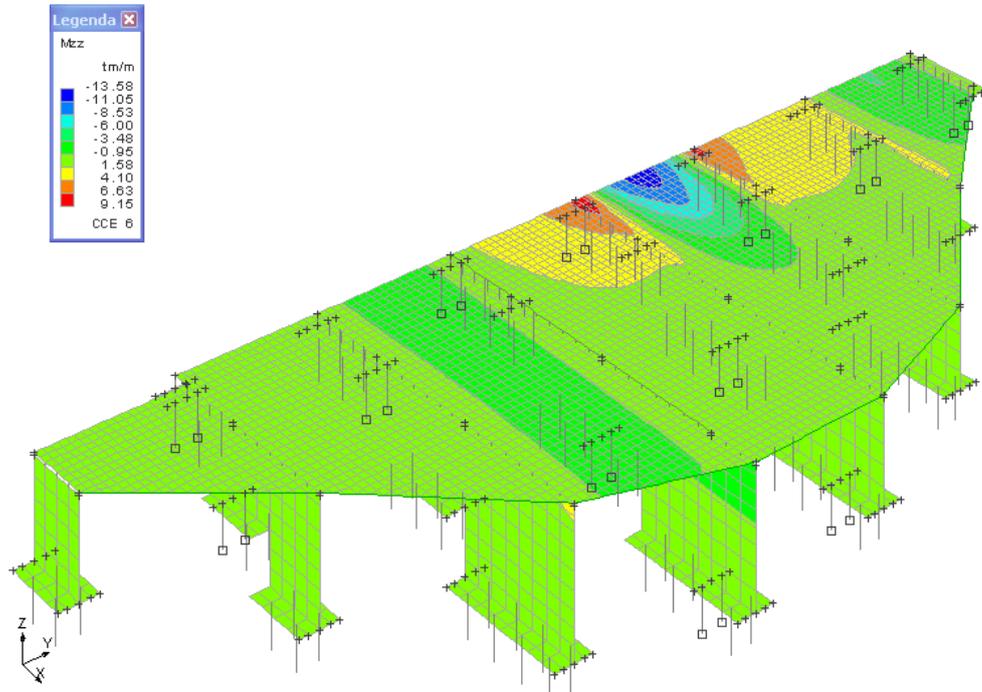


Fig. 25: diagramma Mzz

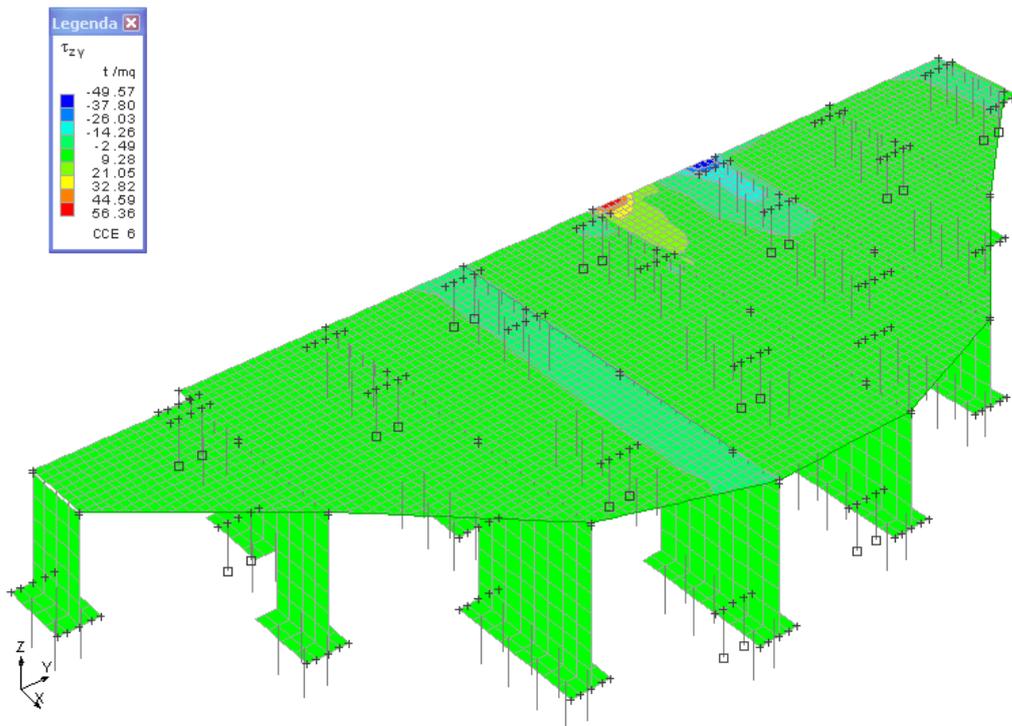


Fig. 26: diagramma  $\tau_{zy}$

Frenamento - CCE7

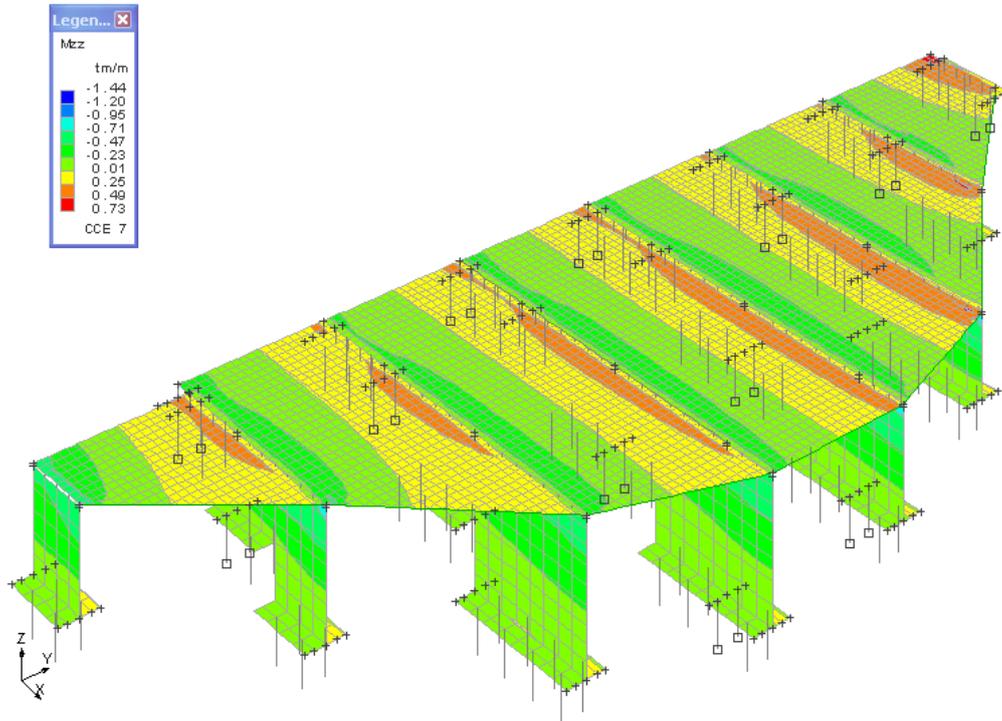


Fig. 27: diagramma Mzz

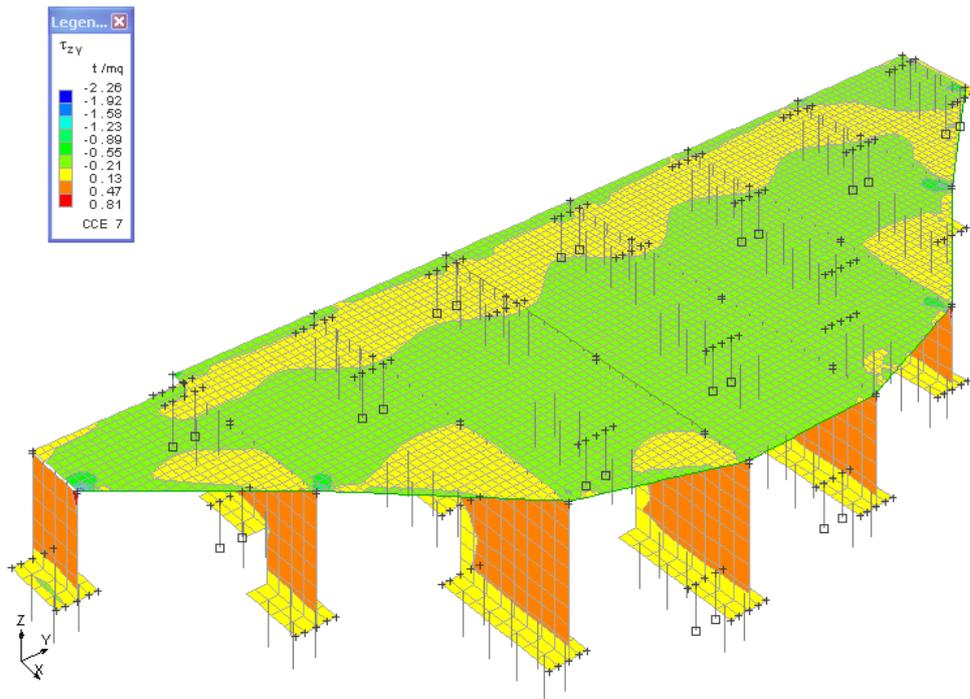


Fig. 28:

diagramma Tzy

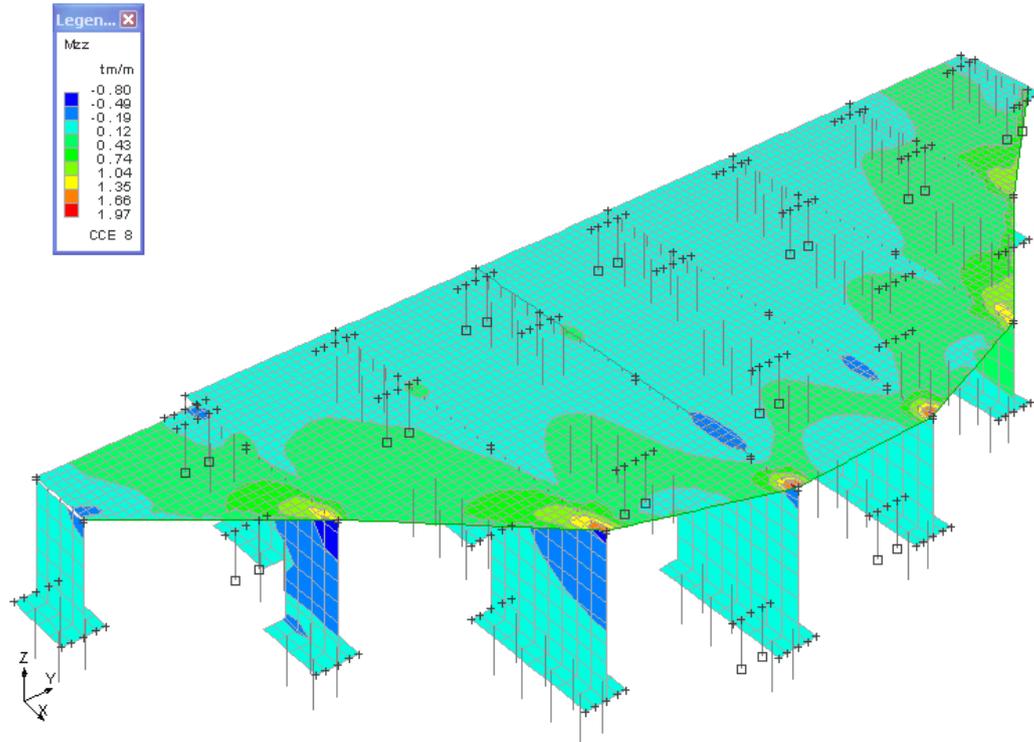
Azione centrifuga - CCE8

Fig. 29: diagramma Mzz

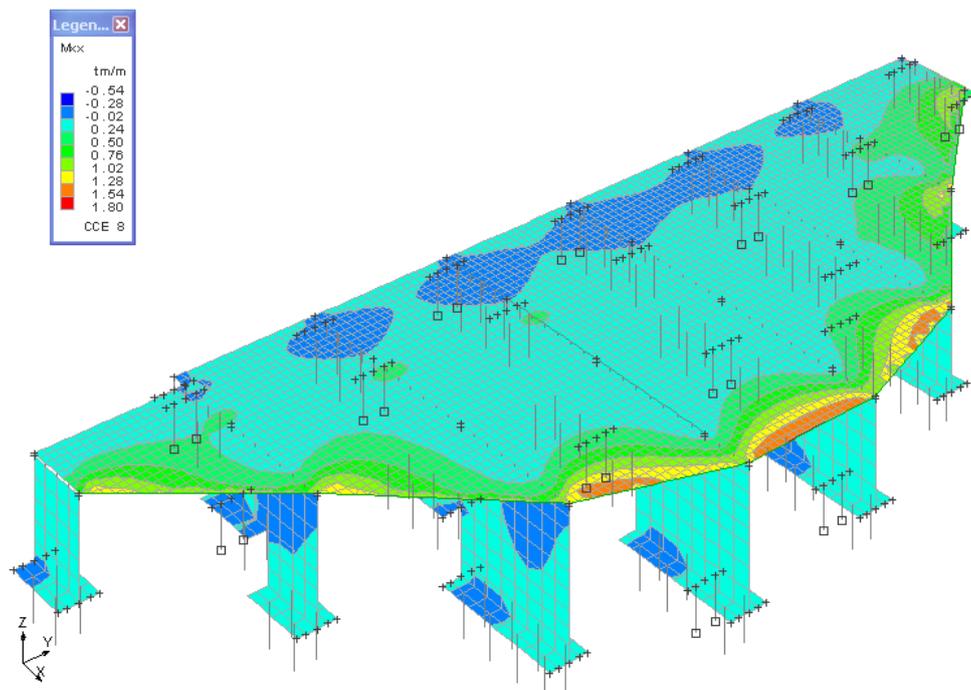


Fig. 30: diagramma Mxx

Azione vento - CCE9

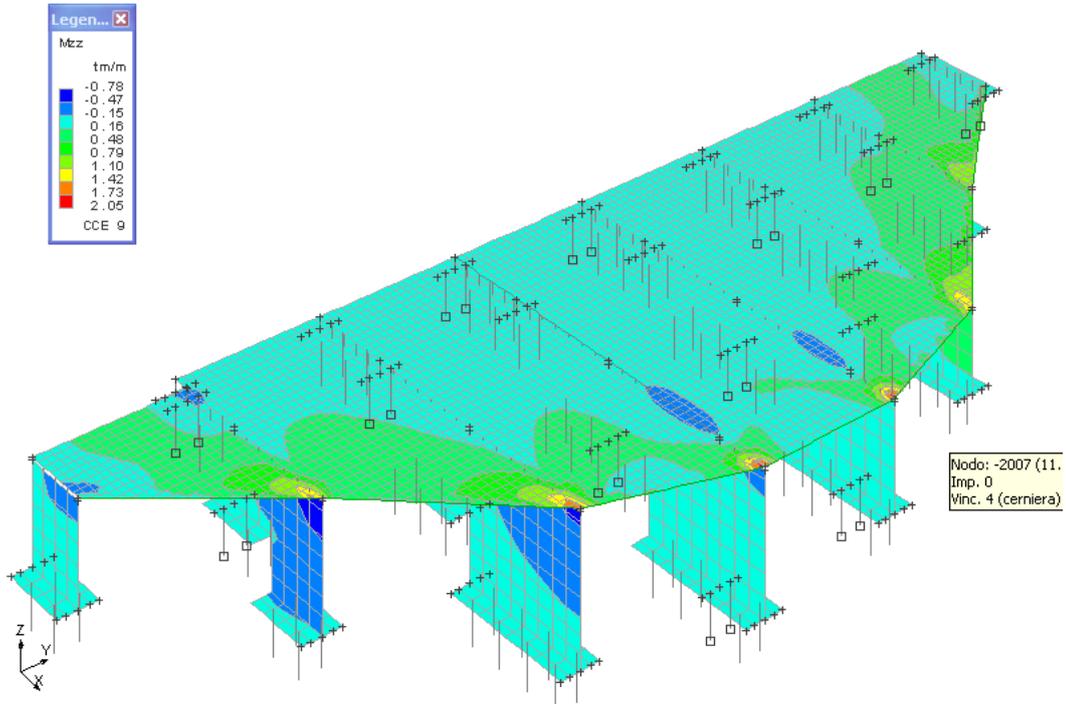


Fig. 31: diagramma Mzz

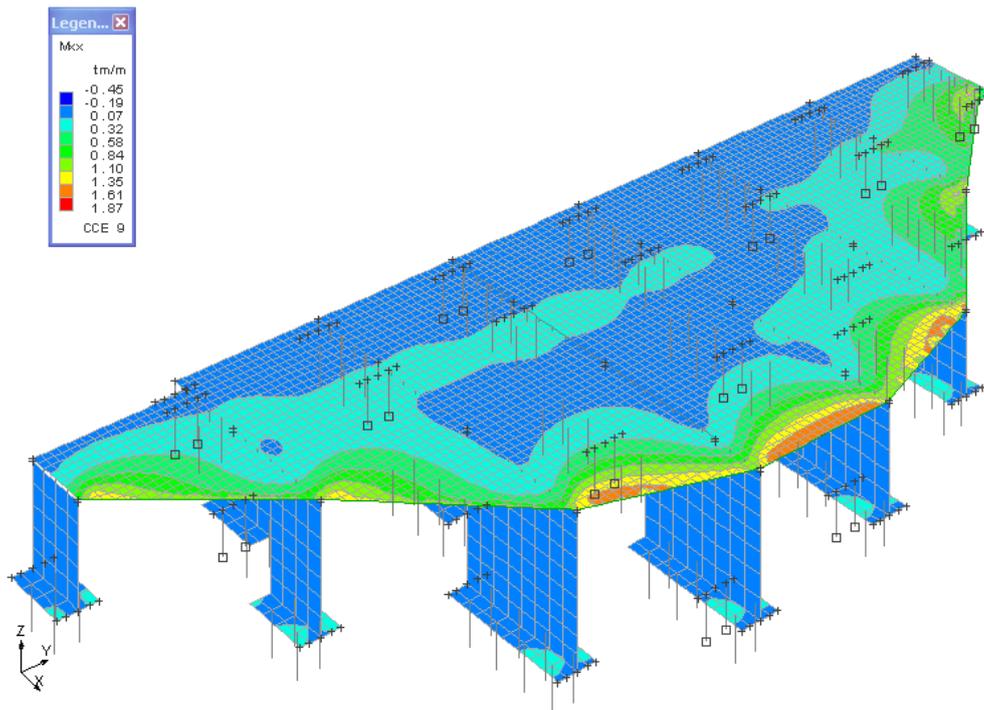
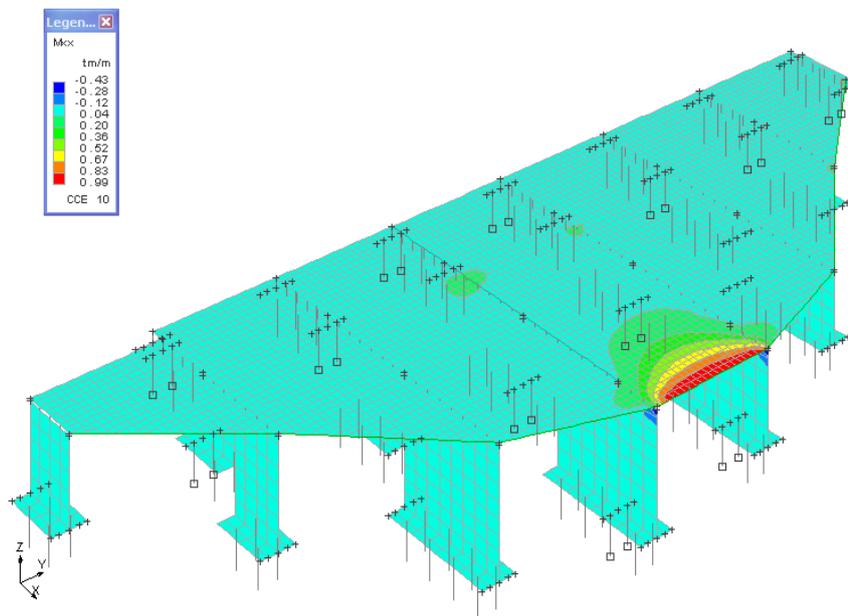


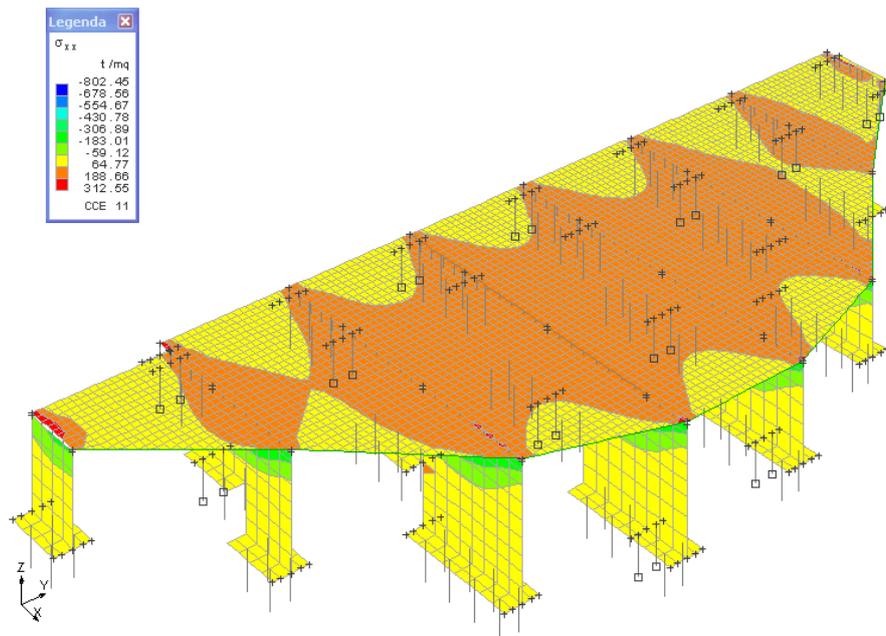
Fig. 32: diagramma Mxx

Azione urto - CCE10



**Fig. 33: diagramma Mxx**

Variazione termiche e ritiro - CCE11



**Fig. 34: diagramma Sxx med**

## 10.2. SOLLECITAZIONE NELLA TRAVE DI BORDO

Si riporta di seguito i diagrammi di involuppo delle sollecitazioni della trave di bordo

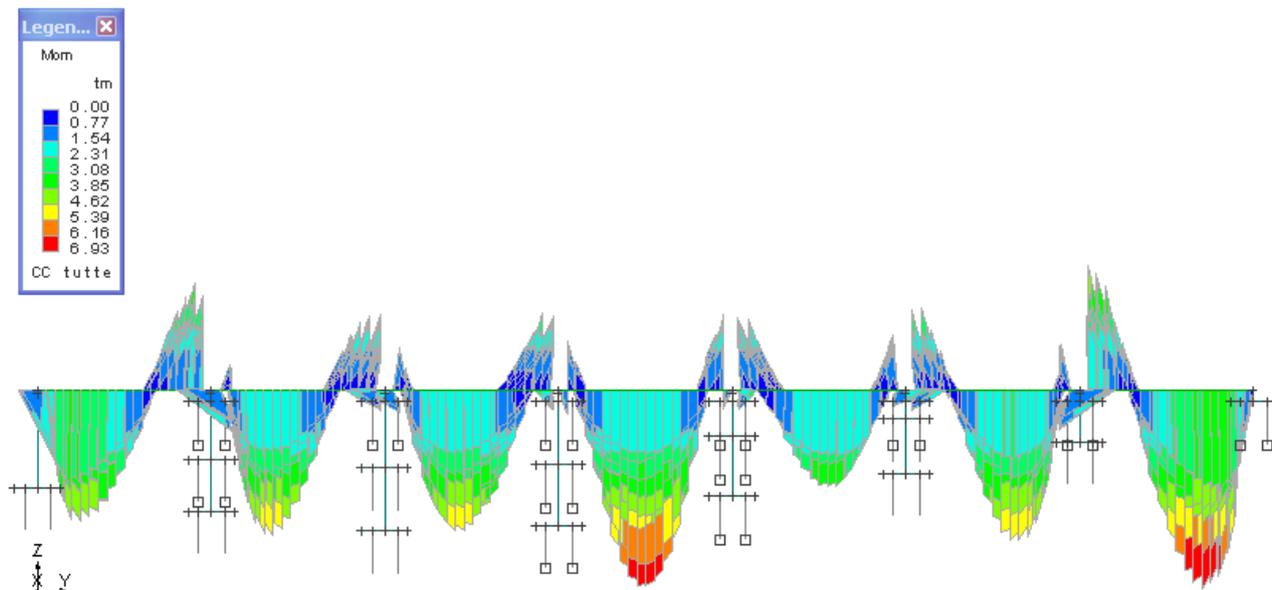


Fig. 35: diagramma Involuppo Momento - CC tutte

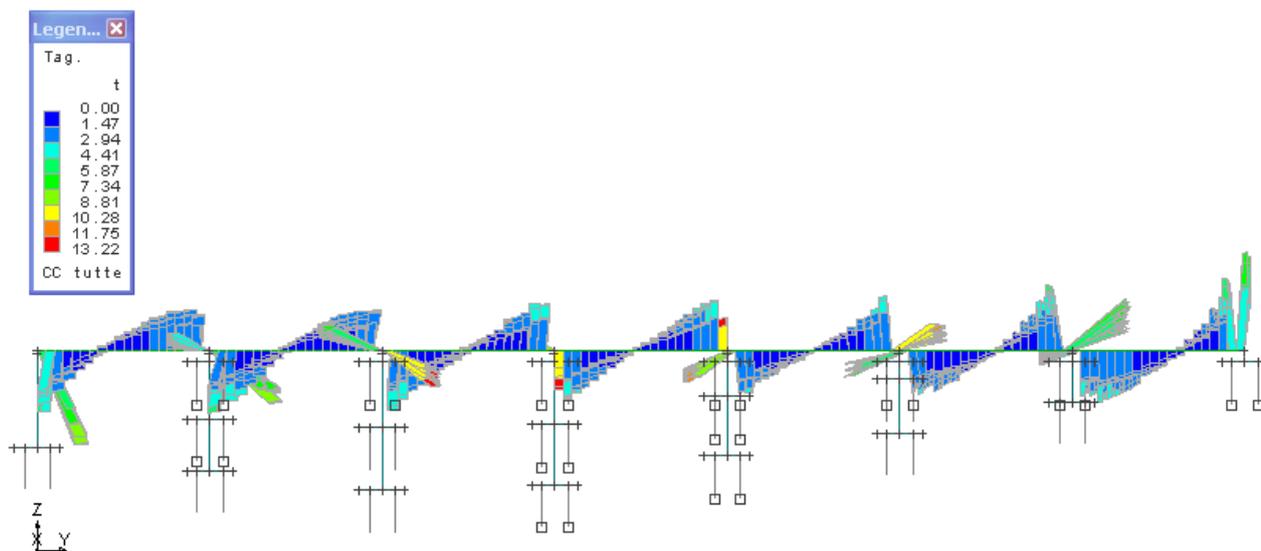
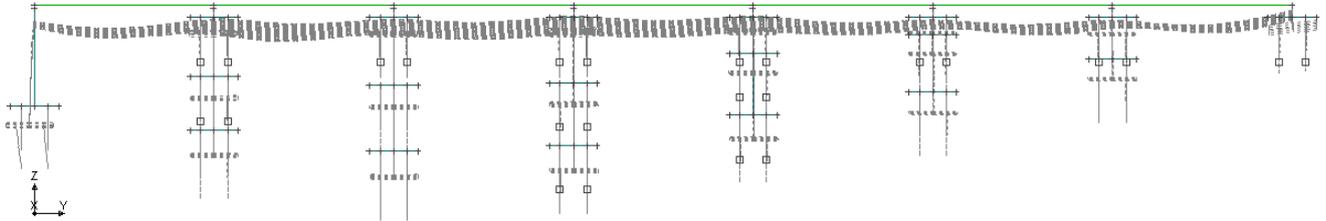


Fig. 36: diagramma Involuppo Taglio - CC tutte

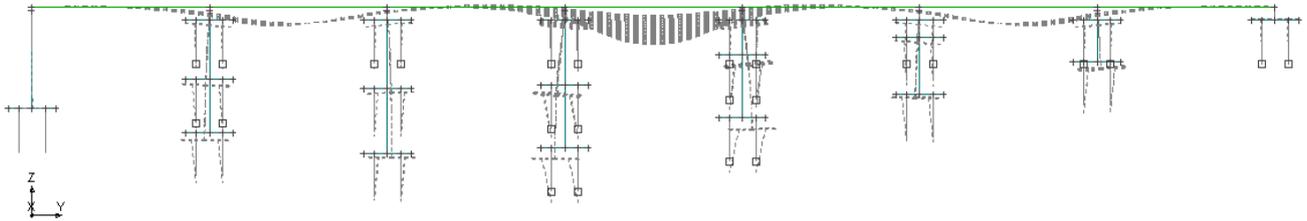
Per le verifiche si rimanda al fascicolo dei calcoli

### 10.3. SPOSTAMENTI E DEFORMAZIONI

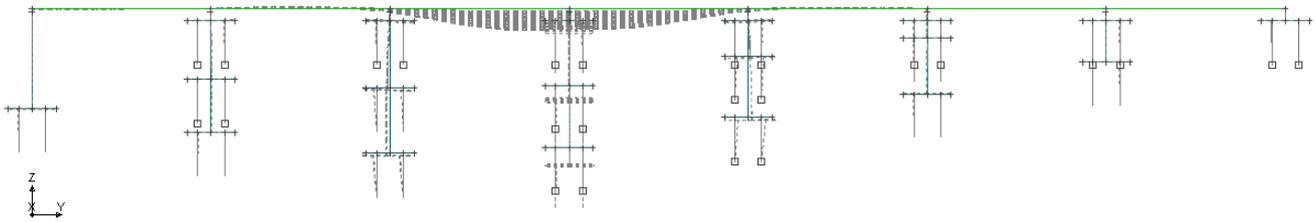
Si riportano di seguito le deformate della struttura nelle diverse combinazioni di carico elementare.



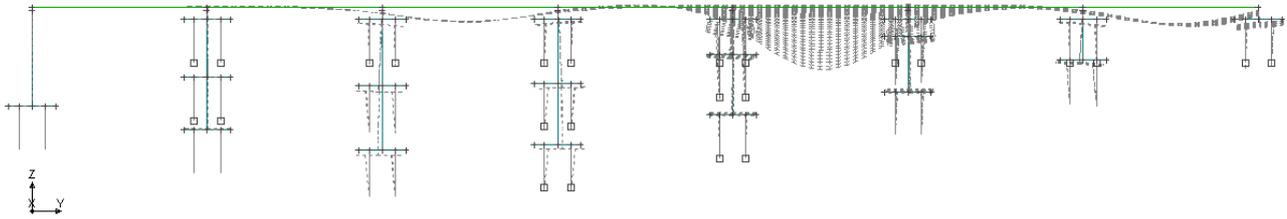
**Fig. 37: deformata – CCE1**



**Fig. 38: deformata - CC3**



**Fig. 39: deformata - CCE5**



**Fig. 40: deformata – CCE6**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01</p> <p style="text-align: right;">Foglio 40 di 68</p>

## 11. VERIFICHE STRUTTURALI DEGLI ELEMENTI PRINCIPALI

### 11.1. VERIFICHE DEGLI ELEMENTI PRINCIPALI

Le verifiche sono state condotte con l'ausilio del software Modest 7.28 con solutore Xfinest prodotto dall'Harpaceas.

### 11.2. Stato limite di deformazione

La verifica è condotta valutando le deformazioni conseguenti ai carichi permanenti ed accidentali mediante calcolo elastico lineare.

Si riporta l'abbassamento in mezzeria dell'impalcato.

Assumendo una luce di calcolo pari a:

$$L_{\text{calc}} = 6 \text{ m}$$

Per i soli carichi permanenti si ha:

$$f_{\text{perm}} = 0.16 \text{ cm} = 1/3750 \text{ L (VERIFICA SODDISFATTA)}$$

Per i soli carichi variabili si ha:

$$f_{\text{var}} = 0.21 \text{ cm} = 1/2857 \text{ L (VERIFICA SODDISFATTA)}$$

## 12. VERIFICA PREDALLES PER GETTO

Calcolo in fase di autoportanza lastre tipo Predalles							
<b>Analisi dei carichi:</b>							
Peso proprio impalcato:	2500.00 daN/mc	*	0.56 m	*	1.20 m	=	1680.00 daN/m
Sovraccarichi mezzi d'opera:	100.00 daN/mq	*	1.20 m			=	120.00 daN/m
Eventuali ulteriori sovraccarichi:	0.00 daN/mq	*	1.20 m			=	0.00 daN/m
Totale carichi su impalcato:							1800.00 daN/m
<b>Dati Input</b>							
Luce di calcolo:	5.70 m						
n° trallici:	9						
Φ <sub>sup</sub>	18 mm						
Φ <sub>inf</sub>	12 mm						
Atot ferri sup	2290 mmq						
Atot ferri inf	2036 mmq						
Copriferro sup δ':	33.5 cm						
Copriferro inf δ:	2.0 cm						
Altezza totale sezione H:	56.0 cm						
h <sub>u</sub> = H - (δ' + δ)	20.5 cm						
β (coeff. di riduzione) corrente sup	1						
L <sub>o</sub> = β × L' (L <sub>o</sub> =lungh. libera di infles.)	20.0 cm						
ρ (raggio d'inerzia) corrente superiore	0.45 cm						
L' (luce=passo delle staffe)	20.0 cm						
i = distanza tra i correnti inf. traliccio	10.0 cm						
Φ <sub>staffe</sub>	8 mm		10 mm				
γ			6.95 °				
α			72.23 °				
L <sub>staffe</sub>			23.0 cm				
β' (coeff. di riduzione) staffa			0.90				
L <sub>o</sub> ' = β' × L <sub>staffe</sub> (L <sub>o</sub> '=lungh. Lib. infles.)			20.7 cm				
ρ' (raggio d'inerzia) staffa			0.25 cm				
Acciaio	FeB44k		2600				
E (modulo elasticità acciaio)			2100000 daN/cm <sup>2</sup>				
<b>Sollecitazioni:</b>							
M <sub>campota</sub> = (1/8)ql <sup>2</sup> =	7310 daN*m						
T <sub>appoggi</sub> = 1.25*(ql/2) =	6413 daN						
N = M <sub>campota</sub> /h <sub>u</sub> =	35660 daN						
<b>Verifica ad instabilità del corrente superiore compresso:</b>							
λ (snellezza) = L <sub>o</sub> / ρ =	45	⇒	(il coeff. ω viene ricavato dalle norme DIN 4114 riferite ai tondi realizzati con acciaio St52)				
λ =	45	<	250 Ci si trova in campo elastico ω = 1.29				
σ = ω × N / A <sub>tot ferri sup</sub> =	2001 daN/cm <sup>2</sup>	<	2600 daN/cm <sup>2</sup> Verifica soddisfatta				
<b>Verifica a trazione correnti inferiori:</b>							
σ = N / A <sub>tot ferri inf</sub> =	1752 daN/cm <sup>2</sup>	<	2600 daN/cm <sup>2</sup> Verifica soddisfatta				
<b>Verifica ad instabilità delle staffe compresse:</b>							
λ' (snellezza) = L <sub>o</sub> ' / ρ' =	83	⇒	(il coeff. ω viene ricavato dalle norme DIN 4114 riferite ai tondi realizzati con acciaio St52)				
λ' =	83	<	250 Ci si trova in campo elastico ω = 2.01				
S = T / (n° trallici * 2 * sen α * cos γ) =	376.87 daN						
σ = ω × S / A <sub>staffe</sub> =	964 daN/cm <sup>2</sup>	<	2600 daN/cm <sup>2</sup> Verifica soddisfatta				
<b>Verifica valore freccia elastica</b>							
Cautelativamente si trascura il contributo della soletta in cls procedendo alla verifica di un traliccio isolato							
A <sub>ferro sup</sub> =	2.54 cm <sup>2</sup>	A <sub>ferri inf</sub> =	2.26 cm <sup>2</sup>				
X <sub>g</sub> =	10.85 cm	I <sub>g</sub> =	1503 cm <sup>4</sup>				
dove X <sub>g</sub> = (A <sub>ferro sup</sub> × h <sub>u</sub> ) / (A <sub>ferro sup</sub> + A <sub>ferri inf</sub> )		dove I <sub>g</sub> = A <sub>ferro sup</sub> × (h <sub>u</sub> - X <sub>g</sub> ) <sup>2</sup> + A <sub>ferri inf</sub> × X <sub>g</sub> <sup>2</sup>					
R =	0.13 m	Valore limite per la verifica della freccia elastica					
q =	200 daN/m						
Fel = (5 × q × l <sup>4</sup> ) / (384 × E × I <sub>g</sub> )		⇒ Fel =	2.6 cm < L / 200 = 2.850 cm				
Verifica soddisfatta							

Pagina 1

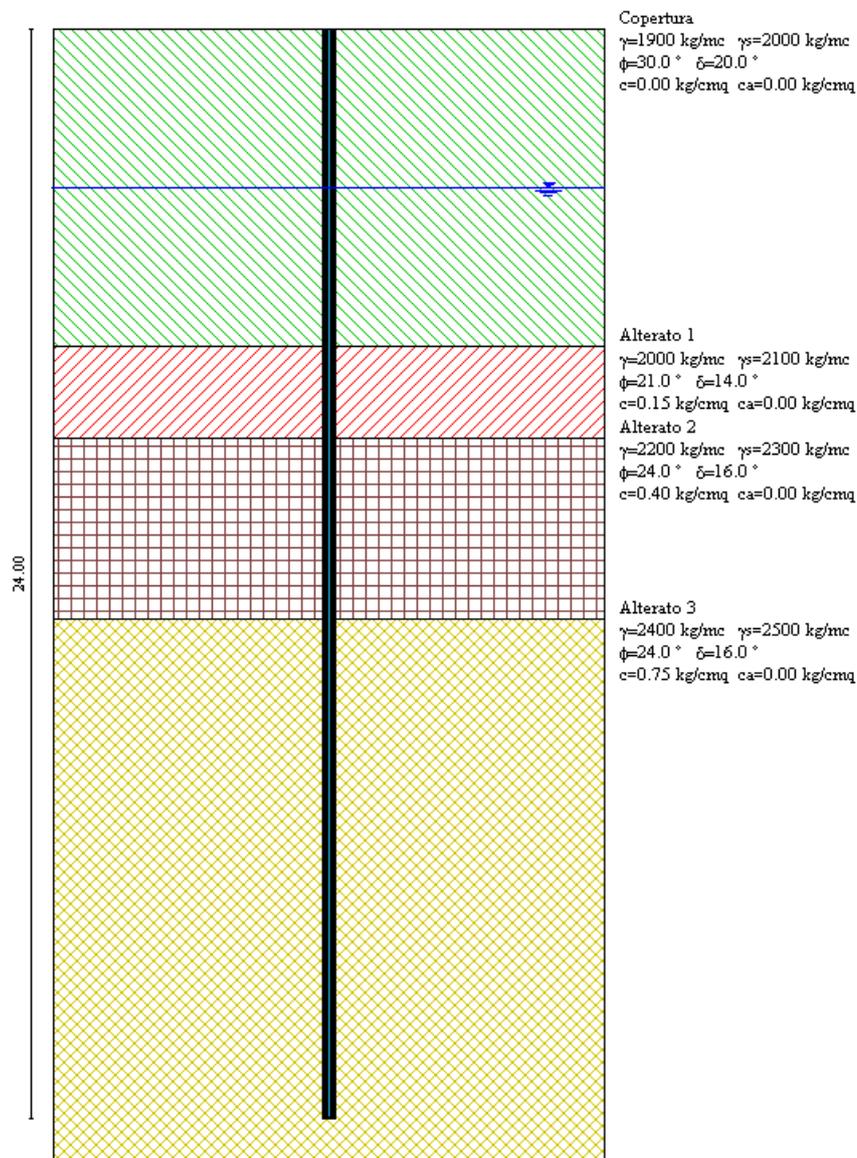
## 13. VERIFICHE DELLA PALIFICATA

### 13.1. MODELLO DI CALCOLO

L'analisi della portanza del palo è stata condotta con l'ausilio del software Carl.10.0, prodotto da Aztec s.r.l.

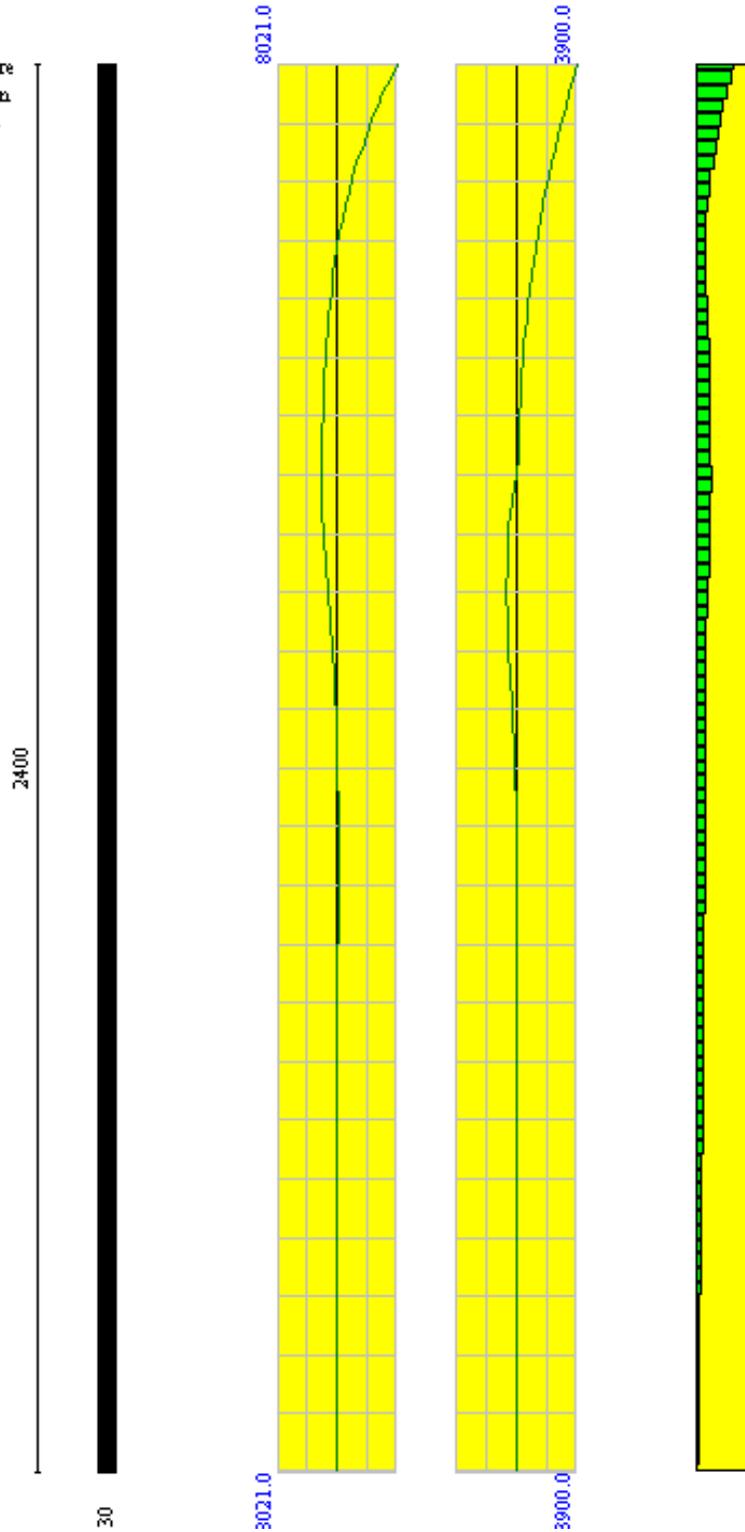
Il palo viene calcolato con le sollecitazioni massime ricavate dal modello di calcolo e adottando la stratigrafia riportata nel paragrafo Parametri Geotecnici.

Si riportano di seguito alcune immagini che illustrano le caratteristiche generali e la geometria del modello di calcolo.



Armatura tubolare  
  $D_e = 219.10 \text{ mm}$   
 $S_p = 12.50 \text{ mm}$

Palo N° 1
L = 24.0 m
D = 30 cm
M = 8021.0 kgm
N = 43000.0 kg
T = 3900.0 kg



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 44 di 68</span>

L =	24,00 m	D =	30,00 cm
<b>Portanza verticale</b>			
Pp =	39826 kg		
Pl =	87421 kg		
Wp =	5133 kg	Pt =	127247 kg
Pa =	45766 kg	N =	43000 kg
		$\eta =$	1,06
<b>Coefficienti di capacità portante</b>			
Nc =	23,36	Nq =	11,40
N'c =	23,36	N'q =	11,40
<b>Portanza trasversale</b>			
Tu =	8852 kg	T =	3900 kg
Mu =	17754 kgm	$\eta =$	2,27
<b>Armatura palo (primo tratto)</b>			
<b>Armatura palo (secondo tratto) - y =</b>			
<b>Cedimenti</b>			
w =	0,329 cm	u =	1,758 cm

Si riporta di seguito la verifica del palo

### Determinazione della capacità portante

Il carico verticale che grava sul palo va confrontato con il carico ammissibile del palo stesso. Il problema che si pone, quindi, è quello di determinare la capacità portante del palo. Determinata la capacità portante, il carico ammissibile del palo si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portanza di base (o di punta) e portanza per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

- Q<sub>T</sub> Portanza totale del palo;
- Q<sub>P</sub> Portanza di base del palo;
- Q<sub>L</sub> Portanza per attrito laterale del palo;
- W<sub>P</sub> Peso proprio del palo.

Le due componenti Q<sub>P</sub> e Q<sub>L</sub> sono calcolate in modo indipendente fra loro. Risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico viene assorbita per attrito laterale e quanta per resistenza alla base.

Nel caso di pali soggetti a trazione la resistenza allo sfilamento vale:

$$Q_T = Q_L + W_P$$

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q<sub>A</sub> applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza rispettivamente  $\eta_p$  e  $\eta_l$ .

I coefficienti  $\eta_p$  e  $\eta_l$  rappresentano rispettivamente i valori del coefficiente di sicurezza per la portanza di punta e quello per la portanza laterale.

Quindi nel caso di pali compressi abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_P/\eta_p + Q_L/\eta_l - W_P$$

Nel caso invece di pali soggetti a sforzi di trazione abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_L/\eta_l + W_P$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01
	Foglio 45 di 68

## Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P (c N_c + q_b N_q)$$

dove  $A_P$  è l'area portante efficace della punta del palo,  $c$  è la coesione,  $q_b$  è la pressione del terreno alla quota della punta del palo ed i coefficienti  $N_c$  e  $N_q$  sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di profondità.

$N_c$  ed  $N_q$  dipendono sia dalla geometria del palo che dalle caratteristiche del terreno angolo di attrito e coesione ( $\phi$  e  $c$ ).

In letteratura è possibile trovare diverse formule per il calcolo dei valori di  $N_c$  ed  $N_q$ .

Per pali in argilla in condizioni non drenate ( $\phi=0$ ,  $c=c_u$ ) si assume in genere per  $N_c$  il valore proposto da Skempton pari a 9 (valore in corrispondenza della punta del palo) mentre  $N_q=1$ . Diversi autori hanno proposto altri valori per il fattore  $N_c$  ma in generale le variazioni sono abbastanza contenute.

Diverso è il caso del fattore  $N_q$  per il quale diversi autori propongono dei valori spesso molto discordanti fra di loro.

In particolare da prove effettuati su pali realizzati in terreni non coesivi, si vede che la variazione della resistenza alla punta non cresce in modo lineare con la profondità, ma raggiunto un certo valore essa si mantiene pressochè costante. Questo fenomeno è stato spiegato da Vesic mettendo in conto un <<effetto arco>> che si manifesta nei dintorni del palo.

Un modo semplice per tener conto del fatto che la resistenza alla punta non può crescere indefinitamente è quello di considerare il diagramma delle pressioni verticali in corrispondenza del palo opportunamente modificato.

In particolare si assume che la pressione verticale  $\sigma_v$  cresca linearmente (pressione geostatica) fino ad una certa profondità  $z_c$  ( $\sigma_v=\sigma_c$ ); superata tale profondità il valore della pressione verticale si mantiene costante e pari a  $\sigma_c$ : in pratica si assume un diagramma bilatero per l'andamento della pressione verticale in corrispondenza del palo.

Il valore di  $z_c$  (detta anche profondità critica) dipende dal diametro del palo,  $D$ , dalla tecnologia di realizzazione (palo infisso o trivellato) dall'angolo di attrito del terreno  $\phi$ .

Nella determinazione di  $z_c$  il valore di  $\phi$  da considerare è funzione del valore dell'angolo di attrito prima dell'installazione del palo,  $\phi'$ , secondo le seguenti relazioni:

Per pali infissi  $\phi = 3/4 \phi' + 10$

Per pali trivellati  $\phi = \phi' - 3$

A parità di diametro influisce il grado di addensamento del terreno (densità relativa  $D_r$ ) e la resistenza alla punta cresce con il crescere della densità.

Nella sezione successiva descriveremo le relazioni per la determinazione di  $N_c$  ed  $N_q$ .

## Capacità portante per attrito laterale

La portanza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limiti:

$$Q_L = \text{Int}(\tau_a) dS$$

dove  $\tau_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb:

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \text{tg } \delta$$

dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $\delta$  è l'angolo di attrito palo-terreno, e  $\sigma_h$  è la tensione orizzontale alla generica profondità  $z$ . La tensione orizzontale  $\sigma_h$  è legata alla pressione verticale  $\sigma_v$  tramite il coefficiente di spinta  $K_s$

$$\sigma_h = K_s \sigma_v$$

Indicando con  $C$  il perimetro e con  $L$  la lunghezza del palo abbiamo:

$$\text{Int}^L (C(c_a + K_s \sigma_v \text{tg } \delta) dz)$$

## Analisi del palo soggetto a forze orizzontali (Portanza trasversale)

La resistenza limite laterale di un palo è determinata dal minimo valore fra il carico orizzontale necessario per produrre il collasso del terreno lungo il fusto del palo ed il carico orizzontale necessario per produrre la plasticizzazione del palo. Il primo meccanismo (plasticizzazione del terreno) si verifica nel caso di pali molto rigidi in terreni poco resistenti (meccanismo di palo corto) mentre il secondo meccanismo si verifica nel caso di pali aventi rigidità non eccessive rispetto al terreno di infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio). Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante di rigidità elastica,  $K_h$ , espressa in  $\text{Kg/cm}^2/\text{cm}$  che rappresenta la pressione (in  $\text{Kg/cm}^2$ ) che bisogna applicare per ottenere lo spostamento di 1 cm. La determinazione di questa costante può essere fatta o tramite prove di carico su piastra o mediante metodi analitici (convenzionali). La variazione della costante di Winkler con la profondità dipende dal tipo di terreno in cui il palo è immerso. Ad esempio nel caso di terreni coesivi in condizioni non drenate  $K_h$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01
	Foglio 46 di 68

assume un valore costante con la profondità mentre nel caso di terreni incoerenti la variazione di  $K_h$  è di tipo lineare (crescente con la profondità). In generale l'espressione di  $K_h$  assume una forma binomia del tipo:

$$K_h(z) = A + B z^n$$

Per l'analisi di pali caricati trasversalmente si utilizza il modello di Winkler. Il palo viene suddiviso in un determinato numero (100) di elementi tipo trave aventi area ed inerzia pari a quella della sezione trasversale del palo. In corrispondenza di ogni nodo di separazione fra i vari elementi viene inserita una molla orizzontale di opportuna rigidità che schematizza il terreno. Il comportamento delle molle che schematizzano il terreno non è infinitamente elastico ma è di tipo elastoplastico. La singola molla reagisce fino ad un valore limite di spostamento o di reazione; una volta che è stato superato tale limite la molla non offre ulteriori incrementi di resistenza (diagramma tipo elastoplastico perfetto). Indicando con  $d_y$  la lunghezza del tratto di influenza della molla, con  $D$  il diametro del palo la molla avrà una rigidità pari a:

$$K_m = d_y e D K_k$$

La resistenza limite del terreno rappresenta il valore limite di resistenza che il terreno può esplicare quando il palo è soggetto ad un carico orizzontale. La resistenza limite  $p_u = p_u(z)$  dipende dalle caratteristiche del terreno e dalla geometria del palo. In terreni puramente coesivi ( $c = cu$ ,  $\phi = 0$ ) la resistenza cresce dal valore 0 in sommità fino ad un valore limite in corrispondenza di una profondità pari a circa 3 diametri. Il valore limite in tal caso è variabile fra 8 e 12  $cu$ . Nel caso di terreni dotati di attrito e coesione la resistenza limite ad una generica profondità  $z$  è rappresentata dalla relazione (Brinch Hansen):

$$P_u = q K_{pq} + c K_{pc}$$

dove:

$D$  diametro del palo

$q$  pressione geostatica alla profondità  $z$

$c$  coesione alla profondità  $z$

$K_{pq}$ ,  $K_{pc}$  coefficienti funzione dell'angolo di attrito del terreno  $\phi$  e del rapporto  $z/D$ .

Broms ha eseguito l'analisi considerando il caso sia di palo vincolato in testa che di palo libero immerso in un mezzo omogeneo. Nel caso di terreni coesivi Broms assume in questo caso un diagramma di resistenza nullo fino ad una profondità pari a  $1,5D$  e poi valore costante pari a  $9c_u D$ .

Nel caso di terreni incoerenti Broms assume che la resistenza laterale sia variabile con la profondità dal valore 0 (in testa) fino al valore  $3\sigma_v K_p D$  (alla base) essendo  $K_p$  il coefficiente di resistenza passiva espresso da  $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$ .

## Calcolo dei cedimenti verticali dei pali

Il calcolo dei cedimenti viene condotto con il metodo degli elementi finiti.

Determinata la portanza laterale e di punta del palo lo stesso viene discretizzato in  $n$  elementi tipo trave aventi area ed inerzia corrispondenti alla sezione trasversale del palo e lunghezza pari ad  $l_e$ . Vengono disposte, inoltre, lungo il fusto del palo una serie di molle (una per ogni elemento), coassiali al palo stesso, aventi rigidità opportuna. Una ulteriore molla viene disposta alla base del palo. Le suddette molle hanno un comportamento elastoplastico. In particolare le molle lungo il fusto saranno in grado di reagire linearmente fino a quando la pressione in corrispondenza di esse non raggiunge il valore limite dell'aderenza palo terreno. Una volta raggiunto tale valore le molle non saranno più in grado di fornire ulteriore resistenza. La molla posta alla base del palo avrà invece una resistenza limite pari alla portanza di punta del palo stesso.

Per la determinazione delle rigidità delle molle si assume uno spostamento di riferimento pari a  $\Delta Y = 0.500$ .

La rigidità della generica molla, posta a profondità  $z$  rispetto al piano campagna sarà data da

$$R_i = \frac{(c_a + \sigma_h K_s \operatorname{tg} \delta) \pi D l_e}{\Delta Y}$$

In questa espressione  $c_a$  è l'aderenza palo terreno,  $\sigma_h$  è la pressione orizzontale alla profondità  $z$ ,  $\delta$  è l'angolo d'attrito palo terreno,  $K_s$  è il coefficiente di spinta e  $D$  è il diametro del palo.

Indicando con  $Q_p$  la portanza alla punta del palo, la rigidità della molla posta alla base dello stesso è data da:

$$R_p = \frac{Q_p}{\Delta Y}$$

Il processo di soluzione è, naturalmente, di tipo iterativo: a partire da un carico iniziale  $N_0$  si determinano gli spostamenti assiali e quindi le reazioni delle molle. La reazione della molla dovrà essere corretta per tener conto di eventuali plasticizzazioni rispettando le equazioni di equilibrio per ogni passo di carico. Il carico iniziale verrà allora incrementato di un passo opportuno  $\Delta N$  e si ripeterà il procedimento. Il processo iterativo termina quando tutte le molle risultano plasticizzate.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 47 di 68</span>

## Geometria della fondazione

### Simbologia adottata

<i>Descrizione</i>	Descrizione del palo
<i>Forma</i>	Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato)
<i>X</i>	Ascissa del baricentro del palo espressa in [m]
<i>Y</i>	Ordinata del baricentro del palo espressa in [m]
<i>D</i>	Diametro del palo espresso in [cm]
<i>L</i>	Lunghezza del palo espressa in [m]

Descrizione	Forma	X	Y	D	L
D=30	(C)	0,00	0,00	30,00	24,00

## Materiali palo

### Calcestruzzo

Tipo	C20/25	
Resistenza caratteristica a compressione $R_{bk}$	254,92	[kg/cm <sup>2</sup> ]
Peso specifico	2500,00	[kg/m <sup>3</sup> ]
Coeff. di omogeneizzazione	15,00	

### Acciaio

Tipo	Fe 510	
Tensione caratteristica di snervamento	3600,00	[kg/cm <sup>2</sup> ]

### Coefficienti di sicurezza sui materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	1.60
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza acciaio	0.85
Coefficiente di sicurezza sezione	1.50

## Caratteristiche pali

Pali in c.a.  
 Armatura a tubolare  
 Vincolo in testa di tipo INCASTRO  
 Tipo di palo TRIVELLATO  
 Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta

## Descrizione terreni e falda

### Simbologia adottata

<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kg/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_{sat}$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/m <sup>3</sup> ]
$\phi$	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
$\delta$	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
<i>c</i>	Coesione del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
<i>ca</i>	Adesione del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

Descrizione	$\gamma$	$\gamma_{sat}$	$\phi$	$\delta$	<i>c</i>	<i>ca</i>
Copertura	1900,0	2000,0	30,00	20,00	0,000	0,000
Alterato 1	2000,0	2100,0	21,00	14,00	0,150	0,000
Alterato 2	2200,0	2300,0	24,00	16,00	0,400	0,000



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01
	Foglio 49 di 68

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.  
Momento positivo senso antiorario.

**Fondazione**

$N_{TOT}$  Sforzo normale totale espressa in [kg]  
 $Mx_{TOT}$  Momento in direzione X espressa in [kgm]  
 $My_{TOT}$  Momento in direzione Y espresso in [kgm]  
 $ex$  Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]  
 $ey$  Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]  
 $\beta$  Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]  
 $T_{TOT}$  Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1 (Condizione n° 1)

Fondazione	$N_{TOT}$	$Mx_{TOT}$	$My_{TOT}$	$ex$	$ey$	$\beta$	$T_{TOT}$
D=30	43000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	3900,0

## Descrizione combinazioni di carico

**Simbologia adottata**

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione  
 $\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione  
C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU

	$\gamma$	$\Psi$	C
Condizione n° 1	1.00	1.00	1.00

**Analisi in condizioni drenate**

## Verifica della portanza assiale

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è: Terzaghi.

L'andamento della pressione verticale  $\sigma_v$  con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stata definita come: Pressione geostatica.

**Simbologia adottata**

Comb Identificativo della combinazione  
Nc, Nq Fattori di capacità portante  
PI Portanza laterale espressa in [kg]  
Pp Portanza di punta espressa in [kg]  
Pa Portanza ammissibile espressa in [kg]  
N Scarico verticale in testa al palo espresso in [kg]  
 $\eta$  Coeff. di sicurezza per carichi verticali

Comb	Nc	Nq
1	23,36	11,40

Comb	PI	Pp	Pa	N	$\eta$
1	87421	39826	45766	43000	1,06

## Verifica della portanza trasversale

Costante di Winkler orizzontale definita da STRATO

Criterio di rottura palo-terreno: Pressione limite (Pressione passiva con moltiplicatore = 3,00)

**Simbologia adottata**

Comb Identificativo della combinazione  
Tu Taglio resistente ultimo in testa al palo, espresso in [kg]  
Mu Momento resistente ultimo in testa al palo, espresso in [kgm]  
Tx Taglio agente in testa al palo, espresso in [kg]  
 $\eta=Tu/Tx$  Coeff. di sicurezza per carichi orizzontali

Comb	Tu	Mu	Tx	$\eta$
1	8852,14	17754,48	3900,00	2,27

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01
	Foglio 50 di 68

### Momento ultimo della sezione

Np	A <sub>r</sub>	M <sub>usez</sub>
1	81,13	17754,48

### Cedimento verticale in testa ai pali

Per il calcolo dei cedimenti è stato utilizzato il metodo degli Elementi Finiti.

Spostamento limite attrito laterale: 0,50 [cm]

Spostamento limite punta: 1,00 [cm]

*Simbologia adottata*

Comb Identificativo della combinazione  
w Cedimento in testa al palo, espresso in [cm]

Combinazione	w
1	0,3285

### Spostamenti e pressioni in esercizio

*Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione palo  
Y ordinata palo espressa in [cm]  
Ue spostamento in esercizio espresso in [cm]  
Pe pressione in esercizio espressa in [kg/cmq]

#### Combinazione n° 1

Nr.	Y	Ue	Pe
1	0,00	1,7584	0,000
2	0,24	1,7514	0,350
3	0,48	1,7315	0,346
4	0,72	1,7004	0,340
5	0,96	1,6596	0,332
6	1,20	1,6107	0,322
7	1,44	1,5548	0,311
8	1,68	1,4934	0,299
9	1,92	1,4274	0,285
10	2,16	1,3580	0,272
11	2,40	1,2860	0,257
12	2,64	1,2123	0,242
13	2,88	1,1377	0,228
14	3,12	1,0628	0,213
15	3,36	0,9883	0,198
16	3,60	0,9147	0,183
17	3,84	0,8424	0,168
18	4,08	0,7719	0,154
19	4,32	0,7035	0,141
20	4,56	0,6376	0,128
21	4,80	0,5743	0,115
22	5,04	0,5139	0,103
23	5,28	0,4566	0,091
24	5,52	0,4025	0,080
25	5,76	0,3517	0,070
26	6,00	0,3043	0,061
27	6,24	0,2604	0,052
28	6,48	0,2200	0,044
29	6,72	0,1832	0,037
30	6,96	0,1499	0,030
31	7,20	0,1202	0,240
32	7,44	0,0939	0,188
33	7,68	0,0712	0,142
34	7,92	0,0517	0,103
35	8,16	0,0353	0,071
36	8,40	0,0218	0,044
37	8,64	0,0108	0,022

38	8,88	0,0022	0,004
39	9,12	-0,0043	-0,021
40	9,36	-0,0091	-0,045
41	9,60	-0,0123	-0,062
42	9,84	-0,0144	-0,072
43	10,08	-0,0154	-0,077
44	10,32	-0,0156	-0,078
45	10,56	-0,0152	-0,076
46	10,80	-0,0144	-0,072
47	11,04	-0,0133	-0,066
48	11,28	-0,0119	-0,060
49	11,52	-0,0105	-0,053
50	11,76	-0,0091	-0,046
51	12,00	-0,0077	-0,039
52	12,24	-0,0064	-0,032
53	12,48	-0,0052	-0,026
54	12,72	-0,0041	-0,020
55	12,96	-0,0031	-0,016
56	13,20	-0,0023	-0,011
57	13,44	-0,0016	-0,008
58	13,68	-0,0010	-0,005
59	13,92	-0,0005	-0,002
60	14,16	-0,0001	-0,001
61	14,40	0,0002	0,001
62	14,64	0,0004	0,002
63	14,88	0,0005	0,003
64	15,12	0,0006	0,003
65	15,36	0,0007	0,003
66	15,60	0,0007	0,003
67	15,84	0,0007	0,003
68	16,08	0,0006	0,003
69	16,32	0,0006	0,003
70	16,56	0,0005	0,003
71	16,80	0,0005	0,002
72	17,04	0,0004	0,002
73	17,28	0,0003	0,002
74	17,52	0,0003	0,001
75	17,76	0,0002	0,001
76	18,00	0,0002	0,001
77	18,24	0,0001	0,001
78	18,48	0,0001	0,000
79	18,72	0,0001	0,000
80	18,96	0,0000	0,000
81	19,20	0,0000	0,000
82	19,44	0,0000	0,000
83	19,68	0,0000	0,000
84	19,92	0,0000	0,000
85	20,16	0,0000	0,000
86	20,40	0,0000	0,000
87	20,64	0,0000	0,000
88	20,88	0,0000	0,000
89	21,12	0,0000	0,000
90	21,36	0,0000	0,000
91	21,60	0,0000	0,000
92	21,84	0,0000	0,000
93	22,08	0,0000	0,000
94	22,32	0,0000	0,000
95	22,56	0,0000	0,000
96	22,80	0,0000	0,000
97	23,04	0,0000	0,000
98	23,28	0,0000	0,000
99	23,52	0,0000	0,000
100	23,76	0,0000	0,000
101	24,00	0,0000	0,000

## Spostamenti e pressioni limiti

*Simbologia adottata*



Nr. Identificativo sezione palo  
Y ordinata palo espressa in [cm]  
Ur spostamento limite espresso in [cm]  
Pr pressione limite espressa in [kg/cmq]

Combinazione n° 1

Nr.	Y	Ur	Pr
1	0,00	4,1670	0,000
2	0,24	4,1473	0,410
3	0,48	4,0960	0,819
4	0,72	4,0188	0,804
5	0,96	3,9192	0,784
6	1,20	3,8006	0,760
7	1,44	3,6663	0,733
8	1,68	3,5190	0,704
9	1,92	3,3615	0,672
10	2,16	3,1960	0,639
11	2,40	3,0249	0,605
12	2,64	2,8500	0,570
13	2,88	2,6732	0,535
14	3,12	2,4959	0,499
15	3,36	2,3198	0,464
16	3,60	2,1458	0,429
17	3,84	1,9753	0,395
18	4,08	1,8091	0,362
19	4,32	1,6480	0,330
20	4,56	1,4927	0,299
21	4,80	1,3438	0,269
22	5,04	1,2019	0,240
23	5,28	1,0672	0,213
24	5,52	0,9402	0,188
25	5,76	0,8211	0,164
26	6,00	0,7101	0,142
27	6,24	0,6072	0,121
28	6,48	0,5127	0,103
29	6,72	0,4265	0,085
30	6,96	0,3487	0,070
31	7,20	0,2792	0,558
32	7,44	0,2180	0,436
33	7,68	0,1649	0,330
34	7,92	0,1194	0,239
35	8,16	0,0813	0,163
36	8,40	0,0498	0,100
37	8,64	0,0244	0,049
38	8,88	0,0044	0,009
39	9,12	-0,0107	-0,054
40	9,36	-0,0218	-0,109
41	9,60	-0,0293	-0,146
42	9,84	-0,0339	-0,170
43	10,08	-0,0362	-0,181
44	10,32	-0,0366	-0,183
45	10,56	-0,0357	-0,178
46	10,80	-0,0337	-0,169
47	11,04	-0,0310	-0,155
48	11,28	-0,0279	-0,140
49	11,52	-0,0246	-0,123
50	11,76	-0,0212	-0,106
51	12,00	-0,0180	-0,090
52	12,24	-0,0149	-0,074
53	12,48	-0,0120	-0,060
54	12,72	-0,0094	-0,047
55	12,96	-0,0072	-0,036
56	13,20	-0,0052	-0,026
57	13,44	-0,0036	-0,018
58	13,68	-0,0022	-0,011
59	13,92	-0,0011	-0,005
60	14,16	-0,0002	-0,001
61	14,40	0,0004	0,002
62	14,64	0,0009	0,005
63	14,88	0,0013	0,006
64	15,12	0,0015	0,007

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01
	Foglio 53 di 68

65	15,36	0,0016	0,008
66	15,60	0,0016	0,008
67	15,84	0,0015	0,008
68	16,08	0,0015	0,007
69	16,32	0,0013	0,007
70	16,56	0,0012	0,006
71	16,80	0,0011	0,005
72	17,04	0,0009	0,005
73	17,28	0,0008	0,004
74	17,52	0,0006	0,003
75	17,76	0,0005	0,003
76	18,00	0,0004	0,002
77	18,24	0,0003	0,002
78	18,48	0,0002	0,001
79	18,72	0,0002	0,001
80	18,96	0,0001	0,000
81	19,20	0,0000	0,000
82	19,44	0,0000	0,000
83	19,68	0,0000	0,000
84	19,92	0,0000	0,000
85	20,16	-0,0001	0,000
86	20,40	-0,0001	0,000
87	20,64	-0,0001	0,000
88	20,88	-0,0001	0,000
89	21,12	-0,0001	0,000
90	21,36	-0,0001	0,000
91	21,60	-0,0001	0,000
92	21,84	-0,0001	0,000
93	22,08	0,0000	0,000
94	22,32	0,0000	0,000
95	22,56	0,0000	0,000
96	22,80	0,0000	0,000
97	23,04	0,0000	0,000
98	23,28	0,0000	0,000
99	23,52	0,0000	0,000
100	23,76	0,0000	0,000
101	24,00	0,0000	0,000

## Sollecitazioni in esercizio

### Simbologia adottata

Nr.	Identificativo sezione
Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])
N	sforzata normale espresso in [kg]
T	taglio espresso in [kg]
M	momento espresso in [kgm]

### Combinazione n° 1

Nr.	Y	M	T	N
1	0,00	7667,99	3900,00	43000,00
2	0,24	6731,99	3647,80	43051,33
3	0,48	5856,52	3398,47	43102,65
4	0,72	5040,89	3153,62	43153,98
5	0,96	4284,02	2914,63	43205,31
6	1,20	3584,51	2682,70	43256,64
7	1,44	2940,66	2458,80	43307,96
8	1,68	2350,54	2243,76	43359,29
9	1,92	1812,04	2038,21	43410,62
10	2,16	1322,87	1842,66	43461,94
11	2,40	880,63	1657,48	43513,27
12	2,64	482,84	1482,90	43564,60
13	2,88	126,94	1319,07	43615,92
14	3,12	-189,63	1166,02	43667,25
15	3,36	-469,48	1023,70	43718,58
16	3,60	-715,17	891,99	43769,91
17	3,84	-929,24	770,68	43821,23
18	4,08	-1114,21	659,52	43872,56
19	4,32	-1272,49	558,21	43923,89



20	4,56	-1406,46	466,40	43975,21
21	4,80	-1518,40	383,70	44026,54
22	5,04	-1610,49	309,70	44077,87
23	5,28	-1684,82	243,96	44129,20
24	5,52	-1743,37	186,00	44180,52
25	5,76	-1788,01	135,36	44231,85
26	6,00	-1820,49	91,54	44283,18
27	6,24	-1842,47	54,05	44334,50
28	6,48	-1855,44	22,36	44385,83
29	6,72	-1860,80	-4,02	44437,16
30	6,96	-1859,84	-25,60	44488,48
31	7,20	-1853,70	-198,63	44448,61
32	7,44	-1806,02	-333,91	44387,92
33	7,68	-1725,89	-436,41	44324,42
34	7,92	-1621,15	-510,86	44258,09
35	8,16	-1498,54	-561,70	44188,95
36	8,40	-1363,73	-593,05	44117,00
37	8,64	-1221,40	-608,66	44042,23
38	8,88	-1075,32	-611,90	43964,64
39	9,12	-928,47	-596,42	43874,23
40	9,36	-785,33	-563,77	43770,23
41	9,60	-650,02	-519,36	43662,40
42	9,84	-525,38	-467,67	43550,75
43	10,08	-413,14	-412,32	43435,27
44	10,32	-314,18	-356,17	43315,96
45	10,56	-228,70	-301,41	43192,83
46	10,80	-156,36	-249,60	43065,86
47	11,04	-96,46	-201,86	42935,07
48	11,28	-48,01	-158,84	42800,46
49	11,52	-9,89	-120,90	42662,01
50	11,76	19,13	-88,10	42519,74
51	12,00	40,27	-60,34	42373,64
52	12,24	54,75	-37,34	42223,71
53	12,48	63,71	-18,73	42069,96
54	12,72	68,21	-4,07	41912,38
55	12,96	69,19	7,09	41750,97
56	13,20	67,48	15,24	41404,59
57	13,44	63,83	20,83	41013,56
58	13,68	58,83	24,30	40613,71
59	13,92	53,00	26,05	40205,02
60	14,16	46,74	26,45	39787,50
61	14,40	40,40	25,82	39361,14
62	14,64	34,20	24,44	38925,96
63	14,88	28,33	22,53	38481,94
64	15,12	22,93	20,31	38029,09
65	15,36	18,05	17,92	37567,41
66	15,60	13,75	15,49	37096,89
67	15,84	10,03	13,12	36617,55
68	16,08	6,88	10,88	36129,37
69	16,32	4,27	8,81	35632,35
70	16,56	2,16	6,94	35126,51
71	16,80	0,49	5,29	34611,83
72	17,04	-0,78	3,86	34088,33
73	17,28	-1,70	2,65	33555,98
74	17,52	-2,34	1,65	33014,81
75	17,76	-2,74	0,84	32464,81
76	18,00	-2,94	0,20	31905,97
77	18,24	-2,99	-0,29	31338,30
78	18,48	-2,92	-0,64	30761,79
79	18,72	-2,76	-0,89	30176,46
80	18,96	-2,55	-1,04	29582,29
81	19,20	-2,30	-1,12	28979,29
82	19,44	-2,03	-1,14	28367,46
83	19,68	-1,76	-1,11	27746,80
84	19,92	-1,49	-1,05	27117,30
85	20,16	-1,24	-0,96	26478,97
86	20,40	-1,01	-0,86	25831,81
87	20,64	-0,80	-0,75	25175,82
88	20,88	-0,62	-0,64	24510,99
89	21,12	-0,47	-0,54	23837,33
90	21,36	-0,34	-0,44	23154,84

91	21,60	-0,23	-0,34	22463,52
92	21,84	-0,15	-0,26	21763,37
93	22,08	-0,09	-0,18	21054,38
94	22,32	-0,05	-0,12	20336,56
95	22,56	-0,02	-0,07	19609,91
96	22,80	0,00	-0,03	18874,42
97	23,04	0,01	0,00	18130,11
98	23,28	0,01	0,01	17376,96
99	23,52	0,01	0,02	16614,98
100	23,76	0,00	0,01	15844,17
101	24,00	0,00	0,01	15064,52

## Sollecitazioni limiti

### Simbologia adottata

Nr.	Identificativo sezione
Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])
Nr	sfuerzo normale espresso in [kg]
Tr	taglio espresso in [kg]
Mr	momento espresso in [kgm]

### Combinazione n° 1

Nr.	Y	Mr	Tr	Nr
1	0,00	17754,48	8852,14	126963,67
2	0,24	15630,43	8556,65	126963,67
3	0,48	13576,83	7966,82	126963,67
4	0,72	11664,79	7388,12	126963,67
5	0,96	9891,64	6823,76	126963,67
6	1,20	8253,94	6276,47	126963,67
7	1,44	6747,59	5748,52	126963,67
8	1,68	5367,94	5241,78	126963,67
9	1,92	4109,91	4757,73	126963,67
10	2,16	2968,06	4297,50	126963,67
11	2,40	1936,66	3861,92	126963,67
12	2,64	1009,80	3451,52	126963,67
13	2,88	181,43	3066,59	126963,67
14	3,12	-554,55	2707,17	126963,67
15	3,36	-1204,27	2373,13	126963,67
16	3,60	-1773,82	2064,13	126963,67
17	3,84	-2269,21	1779,69	126963,67
18	4,08	-2696,34	1519,18	126963,67
19	4,32	-3060,94	1281,88	126963,67
20	4,56	-3368,59	1066,93	126963,67
21	4,80	-3624,65	873,42	126963,67
22	5,04	-3834,27	700,35	126963,67
23	5,28	-4002,36	546,67	126963,67
24	5,52	-4133,56	411,28	126963,67
25	5,76	-4232,27	293,04	126963,67
26	6,00	-4302,59	190,79	126963,67
27	6,24	-4348,38	103,35	126963,67
28	6,48	-4373,19	29,52	126963,67
29	6,72	-4380,27	-31,89	126963,67
30	6,96	-4372,62	-82,10	126963,67
31	7,20	-4352,92	-484,13	126671,25
32	7,44	-4236,72	-798,04	126371,39
33	7,68	-4045,20	-1035,44	126064,09
34	7,92	-3796,69	-1207,45	125749,34
35	8,16	-3506,90	-1324,47	125427,14
36	8,40	-3189,03	-1396,14	125097,50
37	8,64	-2853,95	-1431,24	124760,42
38	8,88	-2510,46	-1437,59	124415,89
39	9,12	-2165,44	-1398,89	124010,32
40	9,36	-1829,70	-1320,51	123594,63
41	9,60	-1512,78	-1215,06	123168,82
42	9,84	-1221,17	-1092,95	122732,90
43	10,08	-958,86	-962,62	122286,85
44	10,32	-727,83	-830,71	121830,69
45	10,56	-528,46	-702,25	121364,41
46	10,80	-359,92	-580,91	120888,01

47	11,04	-220,50	-469,20	120401,50
48	11,28	-107,89	-368,67	119904,86
49	11,52	-19,41	-280,08	119398,11
50	11,76	47,81	-203,60	118881,24
51	12,00	96,67	-138,91	118354,25
52	12,24	130,01	-85,38	117817,14
53	12,48	150,50	-42,11	117269,91
54	12,72	160,61	-8,09	116712,57
55	12,96	162,55	17,77	116145,10
56	13,20	158,29	36,60	114987,35
57	13,44	149,50	49,47	113806,24
58	13,68	137,63	57,40	112601,79
59	13,92	123,85	61,34	111373,98
60	14,16	109,13	62,15	110122,83
61	14,40	94,22	60,56	108848,32
62	14,64	79,68	57,24	107550,47
63	14,88	65,94	52,72	106229,26
64	15,12	53,29	47,47	104884,71
65	15,36	41,90	41,84	103516,81
66	15,60	31,86	36,14	102125,55
67	15,84	23,18	30,58	100710,95
68	16,08	15,85	25,32	99273,00
69	16,32	9,77	20,47	97811,70
70	16,56	4,86	16,10	96327,04
71	16,80	0,99	12,25	94819,04
72	17,04	-1,95	8,93	93287,69
73	17,28	-4,09	6,11	91732,99
74	17,52	-5,56	3,78	90154,94
75	17,76	-6,46	1,89	88553,54
76	18,00	-6,92	0,40	86928,79
77	18,24	-7,01	-0,73	85280,69
78	18,48	-6,84	-1,55	83609,24
79	18,72	-6,47	-2,11	81914,44
80	18,96	-5,96	-2,46	80196,29
81	19,20	-5,37	-2,63	78454,79
82	19,44	-4,74	-2,67	76689,94
83	19,68	-4,10	-2,60	74901,75
84	19,92	-3,47	-2,45	73090,20
85	20,16	-2,89	-2,25	71255,30
86	20,40	-2,35	-2,01	69397,05
87	20,64	-1,87	-1,76	67515,46
88	20,88	-1,44	-1,50	65610,51
89	21,12	-1,08	-1,25	63682,21
90	21,36	-0,78	-1,01	61730,57
91	21,60	-0,54	-0,79	59755,57
92	21,84	-0,35	-0,60	57757,23
93	22,08	-0,20	-0,43	55735,53
94	22,32	-0,10	-0,28	53690,49
95	22,56	-0,04	-0,16	51622,09
96	22,80	0,00	-0,07	49530,35
97	23,04	0,02	-0,01	47415,25
98	23,28	0,02	0,03	45276,81
99	23,52	0,01	0,04	43115,02
100	23,76	0,01	0,02	40929,87
101	24,00	0,00	0,02	40929,87

## Diagramma Carico-Cedimento verticale

### Simbologia adottata

N	Carico sul palo espressa in [kg]
w	Cedimento del palo espresso in [cm]

### Combinazione n° 1

N	w
13011	0,099
32050	0,245
60609	0,463
101011	0,790

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01
	Foglio 57 di 68

111746	1,003
119301	1,215
126855	1,428
126964	1,439

## Diagramma Carico-Cedimento orizzontale

### Simbologia adottata

N	Carico sul palo espressa in [kg]
u	Cedimento del palo espresso in [cm]

### Combinazione n° 1

N	u
5954	2,727
6328	2,908
6514	2,998
8009	3,718
8258	3,838
8383	3,898
8412	3,912
8471	3,940
8852	4,167

## Descrizione armature

Il progetto e la verifica delle armature sono stati effettuati con il metodo degli stati limite ultimi.

L'armatura è costituita da un tubolare:

Diametro tubolare: D = 219,10 [mm]

Spessore tubolare: s = 12,50 [mm]

## Verifica armature pali

### Simbologia adottata

Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso espressa in [m]
CS	coefficiente di sicurezza
M <sub>u</sub>	momento ultimo espresso in [kgm]
N <sub>u</sub>	sforzo normale espresso in [kg]
T <sub>u</sub>	taglio ultimo espresso in [kg]

### Combinazione 1

Y	A <sub>r</sub>	M <sub>u</sub>	N <sub>u</sub>	T <sub>u</sub>	CS
0,00	81,13	16175	90707	146634	2,11
0,24	81,13	15754	100748	146634	2,34
0,48	81,13	15238	112147	146634	2,60
0,72	81,13	14567	124703	146634	2,89
0,96	81,13	13796	139132	146634	3,22
1,20	81,13	12900	155668	146634	3,60
1,44	81,13	11829	174207	146634	4,02
1,68	81,13	10584	195234	146634	4,50
1,92	81,13	9125	218595	146634	5,04
2,16	81,13	7420	243767	146634	5,61
2,40	81,13	5466	270062	146634	6,21
2,64	81,13	3269	294924	146634	6,77
2,88	81,13	867	298047	146634	6,83
3,12	81,13	1292	297495	146634	6,81
3,36	81,13	3168	295054	146634	6,75
3,60	81,13	4594	281186	146634	6,42
3,84	81,13	5671	267435	146634	6,10
4,08	81,13	6508	256248	146634	5,84
4,32	81,13	7164	247272	146634	5,63
4,56	81,13	7677	240027	146634	5,46
4,80	81,13	8075	234134	146634	5,32
5,04	81,13	8386	229525	146634	5,21
5,28	81,13	8627	225961	146634	5,12



5,52	81,13	8810	223256	146634	5,05
5,76	81,13	8944	221264	146634	5,00
6,00	81,13	9039	219866	146634	4,96
6,24	81,13	9100	218963	146634	4,94
6,48	81,13	9133	218474	146634	4,92
6,72	81,13	9143	218330	146634	4,91
6,96	81,13	9133	218469	146634	4,91
7,20	81,13	9119	218671	146634	4,92
7,44	81,13	8981	220725	146634	4,97
7,68	81,13	8736	224352	146634	5,06
7,92	81,13	8400	229322	146634	5,18
8,16	81,13	7985	235463	146634	5,33
8,40	81,13	7500	242638	146634	5,50
8,64	81,13	6942	250309	146634	5,68
8,88	81,13	6328	258711	146634	5,88
9,12	81,13	5662	267551	146634	6,10
9,36	81,13	4961	276512	146634	6,32
9,60	81,13	4249	285412	146634	6,54
9,84	81,13	3547	294008	146634	6,75
10,08	81,13	2811	295519	146634	6,80
10,32	81,13	2150	296379	146634	6,84
10,56	81,13	1573	297129	146634	6,88
10,80	81,13	1081	297769	146634	6,91
11,04	81,13	670	298304	146634	6,95
11,28	81,13	335	298740	146634	6,98
11,52	81,13	69	299086	146634	7,01
11,76	81,13	134	299001	146634	7,03
12,00	81,13	284	298806	146634	7,05
12,24	81,13	387	298672	146634	7,07
12,48	81,13	452	298587	146634	7,10
12,72	81,13	486	298544	146634	7,12
12,96	81,13	495	298532	146634	7,15
13,20	81,13	487	298543	146634	7,21
13,44	81,13	465	298571	146634	7,28
13,68	81,13	433	298613	146634	7,35
13,92	81,13	394	298664	146634	7,43
14,16	81,13	351	298719	146634	7,51
14,40	81,13	307	298777	146634	7,59
14,64	81,13	263	298834	146634	7,68
14,88	81,13	220	298889	146634	7,77
15,12	81,13	180	298941	146634	7,86
15,36	81,13	144	298989	146634	7,96
15,60	81,13	111	299032	146634	8,06
15,84	81,13	82	299069	146634	8,17
16,08	81,13	57	299102	146634	8,28
16,32	81,13	36	299129	146634	8,39
16,56	81,13	18	299152	146634	8,52
16,80	81,13	4	299170	146634	8,64
17,04	81,13	7	299167	146634	8,78
17,28	81,13	15	299156	146634	8,92
17,52	81,13	21	299148	146634	9,06
17,76	81,13	25	299143	146634	9,21
18,00	81,13	28	299140	146634	9,38
18,24	81,13	28	299139	146634	9,55
18,48	81,13	28	299139	146634	9,72
18,72	81,13	27	299140	146634	9,91
18,96	81,13	26	299142	146634	10,11
19,20	81,13	24	299145	146634	10,32
19,44	81,13	21	299148	146634	10,55
19,68	81,13	19	299151	146634	10,78
19,92	81,13	16	299154	146634	11,03
20,16	81,13	14	299157	146634	11,30
20,40	81,13	12	299160	146634	11,58
20,64	81,13	10	299163	146634	11,88
20,88	81,13	8	299166	146634	12,21
21,12	81,13	6	299168	146634	12,55
21,36	81,13	4	299170	146634	12,92
21,60	81,13	3	299172	146634	13,32
21,84	81,13	2	299173	146634	13,75
22,08	81,13	1	299174	146634	14,21
22,32	81,13	1	299175	146634	14,71



22,56	81,13	0	299175	146634	15,26
22,80	81,13	0	299176	146634	15,85
23,04	81,13	0	299176	146634	16,50
23,28	81,13	0	299175	146634	17,22
23,52	81,13	0	299176	146634	18,01
23,76	81,13	0	299176	146634	18,88
24,00	81,13	0	299176	146634	19,86

Inviluppo

<b>Y</b>	<b>A<sub>r</sub></b>	<b>M<sub>u</sub></b>	<b>N<sub>u</sub></b>	<b>T<sub>u</sub></b>	<b>CS</b>
0,00	81,13	16175	90707	146634	2,11
0,24	81,13	15754	100748	146634	2,34
0,48	81,13	15238	112147	146634	2,60
0,72	81,13	14567	124703	146634	2,89
0,96	81,13	13796	139132	146634	3,22
1,20	81,13	12900	155668	146634	3,60
1,44	81,13	11829	174207	146634	4,02
1,68	81,13	10584	195234	146634	4,50
1,92	81,13	9125	218595	146634	5,04
2,16	81,13	7420	243767	146634	5,61
2,40	81,13	5466	270062	146634	6,21
2,64	81,13	3269	294924	146634	6,77
2,88	81,13	867	298047	146634	6,83
3,12	81,13	1292	297495	146634	6,81
3,36	81,13	3168	295054	146634	6,75
3,60	81,13	4594	281186	146634	6,42
3,84	81,13	5671	267435	146634	6,10
4,08	81,13	6508	256248	146634	5,84
4,32	81,13	7164	247272	146634	5,63
4,56	81,13	7677	240027	146634	5,46
4,80	81,13	8075	234134	146634	5,32
5,04	81,13	8386	229525	146634	5,21
5,28	81,13	8627	225961	146634	5,12
5,52	81,13	8810	223256	146634	5,05
5,76	81,13	8944	221264	146634	5,00
6,00	81,13	9039	219866	146634	4,96
6,24	81,13	9100	218963	146634	4,94
6,48	81,13	9133	218474	146634	4,92
6,72	81,13	9143	218330	146634	4,91
6,96	81,13	9133	218469	146634	4,91
7,20	81,13	9119	218671	146634	4,92
7,44	81,13	8981	220725	146634	4,97
7,68	81,13	8736	224352	146634	5,06
7,92	81,13	8400	229322	146634	5,18
8,16	81,13	7985	235463	146634	5,33
8,40	81,13	7500	242638	146634	5,50
8,64	81,13	6942	250309	146634	5,68
8,88	81,13	6328	258711	146634	5,88
9,12	81,13	5662	267551	146634	6,10
9,36	81,13	4961	276512	146634	6,32
9,60	81,13	4249	285412	146634	6,54
9,84	81,13	3547	294008	146634	6,75
10,08	81,13	2811	295519	146634	6,80
10,32	81,13	2150	296379	146634	6,84
10,56	81,13	1573	297129	146634	6,88
10,80	81,13	1081	297769	146634	6,91
11,04	81,13	670	298304	146634	6,95
11,28	81,13	335	298740	146634	6,98
11,52	81,13	69	299086	146634	7,01
11,76	81,13	134	299001	146634	7,03
12,00	81,13	284	298806	146634	7,05
12,24	81,13	387	298672	146634	7,07
12,48	81,13	452	298587	146634	7,10
12,72	81,13	486	298544	146634	7,12
12,96	81,13	495	298532	146634	7,15
13,20	81,13	487	298543	146634	7,21
13,44	81,13	465	298571	146634	7,28
13,68	81,13	433	298613	146634	7,35
13,92	81,13	394	298664	146634	7,43
14,16	81,13	351	298719	146634	7,51



14,40	81,13	307	298777	146634	7,59
14,64	81,13	263	298834	146634	7,68
14,88	81,13	220	298889	146634	7,77
15,12	81,13	180	298941	146634	7,86
15,36	81,13	144	298989	146634	7,96
15,60	81,13	111	299032	146634	8,06
15,84	81,13	82	299069	146634	8,17
16,08	81,13	57	299102	146634	8,28
16,32	81,13	36	299129	146634	8,39
16,56	81,13	18	299152	146634	8,52
16,80	81,13	4	299170	146634	8,64
17,04	81,13	7	299167	146634	8,78
17,28	81,13	15	299156	146634	8,92
17,52	81,13	21	299148	146634	9,06
17,76	81,13	25	299143	146634	9,21
18,00	81,13	28	299140	146634	9,38
18,24	81,13	28	299139	146634	9,55
18,48	81,13	28	299139	146634	9,72
18,72	81,13	27	299140	146634	9,91
18,96	81,13	26	299142	146634	10,11
19,20	81,13	24	299145	146634	10,32
19,44	81,13	21	299148	146634	10,55
19,68	81,13	19	299151	146634	10,78
19,92	81,13	16	299154	146634	11,03
20,16	81,13	14	299157	146634	11,30
20,40	81,13	12	299160	146634	11,58
20,64	81,13	10	299163	146634	11,88
20,88	81,13	8	299166	146634	12,21
21,12	81,13	6	299168	146634	12,55
21,36	81,13	4	299170	146634	12,92
21,60	81,13	3	299172	146634	13,32
21,84	81,13	2	299173	146634	13,75
22,08	81,13	1	299174	146634	14,21
22,32	81,13	1	299175	146634	14,71
22,56	81,13	0	299175	146634	15,26
22,80	81,13	0	299176	146634	15,85
23,04	81,13	0	299176	146634	16,50
23,28	81,13	0	299175	146634	17,22
23,52	81,13	0	299176	146634	18,01
23,76	81,13	0	299176	146634	18,88
24,00	81,13	0	299176	146634	19,86

## 14. VERIFICHE CORDOLO A SBALZO

### 14.1. Analisi dei carichi

#### 14.1.1. Geometria strutturale di calcolo

La geometria strutturale presa come riferimento per il calcolo delle azioni è riportata nella seguente figura.

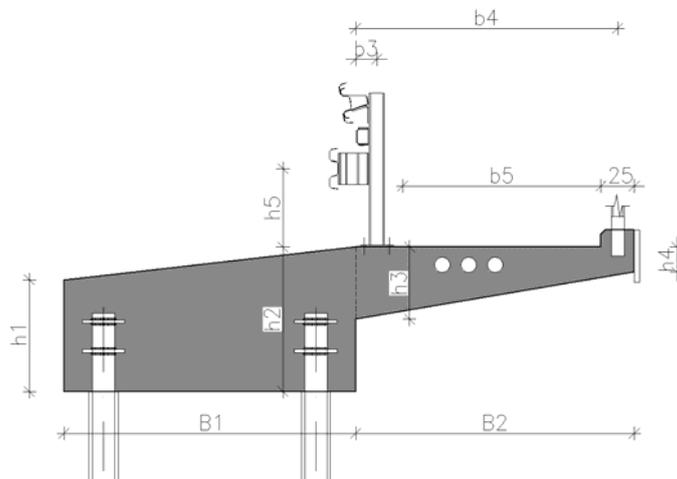


Figura 1 – geometria di riferimento per il calcolo delle azioni

#### Geometria strutturale di calcolo

B1 =	350 cm	h1 =	125 cm
B2 =	270 cm	h2 =	125 cm
b3 =	108 cm	h3 =	50 cm
b4 =	255 cm	h4 =	50 cm
b5 =	130 cm	h5 =	95 cm

A1 =	43,750 cm <sup>2</sup>	A2 =	13,500 cm <sup>2</sup>	A =	57,250 cm <sup>2</sup>
x'g1 =	175 cm	x'g2 =	135 cm	xg	= 73 cm
xg1 =	0 cm	xg2 =	310 cm	yg	= 75 cm

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 62 di 68</span>

## 14.1.2. Azioni elementari

### Peso proprio strutturale (g1)

$\gamma_{cls}$  25 kN/m<sup>3</sup>

*Azioni risultanti rispetto all'origine del sistema di riferimento riferite ad un tratto di lunghezza unitaria*

Fy =	143.125 kN/m
Mz =	-104.63 kNm/m

*Azioni risultanti rispetto al baricentro della sezione di incastro riferite ad un tratto di lunghezza unitaria*

Fv1	33.75 kN/m
Mz1	-45.56 kNm/m

### Carico permanente non strutturale (g2)

$\gamma_{pav}$	22kN/m <sup>3</sup>	
S <sub>pav</sub>	35cm	
p1 =	7.7kN/m <sup>2</sup>	(pavimentazione stradale)
P2 =	1.0kN/m	(guardrail)
P3 =	1.0kN/m	(parapetto)
p4 =	9kN/m <sup>2</sup>	(pavimentazione marciapiede)

*Azioni risultanti rispetto all'origine del sistema di riferimento riferite ad un tratto di lunghezza unitaria*

Fy =	52.575kN/m
Mz =	-76.87kNm/m

*Azioni risultanti rispetto al baricentro della sezione di incastro riferite ad un tratto di lunghezza unitaria*

Fv1	25.63kN/m
Mz1	-35.52kNm/m

### Carichi accidentali (q1)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 63 di 68</span>

F	100kN	(carico ruota)
coeff.	1.4	Coeff dinamico
F1	140kN	(carico ruota amplificato)
N° ruote	3	
i ruote	150cm	(interasse longitudinale ruote)
B rip	200cm	(interasse trasversale ruote)
h rip	125cm	(spessore di ripartizione - rip. 45°)
L rip	550cm	(lunghezza di ripartizione)
f1 long	76.36kN/m	Carico totale ripartito longitudinalmente per un asse
B rip	350cm	(larghezza di ripartizione)
n° carichi	3	n° carichi q1a interessati (oltre B1 3 m ci sono 3 carichi)
b6 =	56cm	b6 distanza carico ruota da sezione di verifica
b7 =	200cm	distanza primo-secondo carico
b8 =	350	distanza primo -terzo carico
f2	4kN/m <sup>2</sup>	(sovraccarico marciapiede)
L2	130cm	

*Azioni risultanti rispetto all'origine del sistema di riferimento riferite ad un tratto di lunghezza unitaria*

Fy1 =	5.2kN/m	(solo sovraccarico marciapiede)
Fy2 =	234.29kN/m	(carreggiata + marciapiede)
Mz =	-173.09636kNm/m	
Mz =	-18.46kNm/m	solo folla

*Azioni risultanti rispetto al baricentro della sezione di incastro riferite ad un tratto di lunghezza unitaria*

Fv1	81.56kN/m
Mz1	-52.12kNm/m

### Sisma (q6)

S	6	$W_{(g1+g2)}$	195.70kN/m	
c	0.04	coeff. (q1)	0	(peso masse sismiche permanenti)
I	1	$W_{(q1)}$	0kN/m	(peso aliquota sismica sovraccarichi)
e	1			
R	1	$W_{sism}$	195.70kN/m	(peso masse sismiche)
kh	0.04			

*Azioni risultanti rispetto all'origine del sistema di riferimento riferite ad un tratto di*

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 64 di 68</span>

*lunghezza unitaria*

$F_x = 7.828 \text{ kN/m}$   
 $M_z = -5.87 \text{ kNm/m}$

### Azioni parapetti e guardrail (q8)

H1	45kN/m	(guardrail)
L rip.	5m	(larghezza di ripartizione)
H2	1.3kN/m	(parapetto)
Mpl	45.4kNm/m	(guardrail)
i mont.	2m	(interasse montanti)

*Azioni risultanti rispetto all'origine del sistema di riferimento riferite ad un tratto di lunghezza unitaria*

Fh1	9kN/m
Mz1 =	-19.80kNm/m
Mz (Mpl)	-22.7kNm/m

*Azioni risultanti rispetto al baricentro della sezione di incastro riferite ad un tratto di lunghezza unitaria*

Fh1	9.00kN/m
Mz1	-10.80kNm/m
Mz (Mpl)	-22.70kNm/m

### 14.1.3. Combinazioni di carico

Tabella riepilogativa per il calcolo delle azioni in fondazione

Co mb.	Note	g1				g2				q1			
		Fx (kN)	Fy (kN)	Mz (kNm)	coefficient	Fx (kN)	Fy (kN)	Mz (kNm)	coefficient	Fx (kN)	Fy (kN)	Mz (kNm)	coefficient
CC 1	traffico+folla+urto	0	143.1	104.6	1	0	52.6	-76.9	1	0	234.3	-173.1	1
CC 2	folla+urto	0	143.1	104.6	1	0	52.6	-76.9	1	0	5.2	-18.5	1
CC 3	sisma	0	143.1	104.6	1	0	52.6	-76.9	1	0	0	0.00	0

Co mb.	Note	q6				q8				azioni baricentro fondazione		
		Fx (kN)	Fy (kN)	Mz (kNm)	coe ff.	Fx (kN)	Fy (kN)	Mz (kNm)	co eff.	Fx (kN)	Fy (kN)	Mz (kNm)
CC 1	traffico+folla+urto	0	0	0.00	0	9	0	-19.8	1	9	430.0	-374.4
CC 2	folla+urto	0	0	0.00	0	9	0	-19.8	1	9	200.9	-219.8
CC 3	sisma	7.8	0	-5.9	1	0	0	0.00	0	7.8	195.7	-187.4

Tabella riepilogativa per il calcolo delle azioni nel baricentro della sezione di incastro

		g1				g2						
		N (kN)	M (kNm)	V (kN)	coeff.	N (kN)	M (kNm)	V (kN)	coeff.			
CC1b	folla+urto	0	-45.6	33.8	1	0	-35.5	25.6	1			
CC2b	folla+Mpl	0	-45.6	33.8	1	0	-35.5	25.6	1			
		q1				q8				Comb.		
		N (kN)	M (kNm)	V (kN)	coeff.	N (kN)	M (kNm)	V (kN)	coeff.	N (kN)	M (kNm)	V (kN)
CC1b	folla+urto	0	-52.1	81.6	1	9	-10.8	0.0	1	9.0	-144.0	140.9
CC2b	folla+Mpl	0	-52.1	81.6	1	9	-22.7	0.0	1	9.0	-155.9	140.9

## 14.2. Verifica geotecnica

Si riportano le azioni in fondazione e le verifiche geotecniche

CC	Azioni barice. fond.			e	u	h/6	h/2				MR	MS	
	Fx (daN)	Fy (daN)	Mz (daN*m)								daNm	daNm	
1	900	42999	37439	0.87	0.88	0.58	1.75	e>h/6;<h/2	3.26	daN/cm 2	3743 9	7524 8	2.01
2	900	20090	21975	1.09	0.66	0.58	1.75	e>h/6;<h/2	2.04	daN/cm 2	2197 5	3515 8	1.60
3	783	19570	18736	0.96	0.79	0.58	1.75	e>h/6;<h/2	1.65	daN/cm 2	1873 6	3424 8	1.83

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01	Foglio 66 di 68

Il valore massimo di pressione sul terreno pari a 3.26 daN/cm<sup>2</sup> è ritenuto accettabile.

### 14.3. Verifica sezione di incastro

Di seguito viene eseguita la verifica della sezione di incastro del cordolo a sbalzo di altezza pari a 50 cm per una larghezza unitaria.

**Titolo :**

**N° figure elementari**  **Zoom** **N° strati barre**  **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15,71	5
2	25,765	45

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

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

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

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

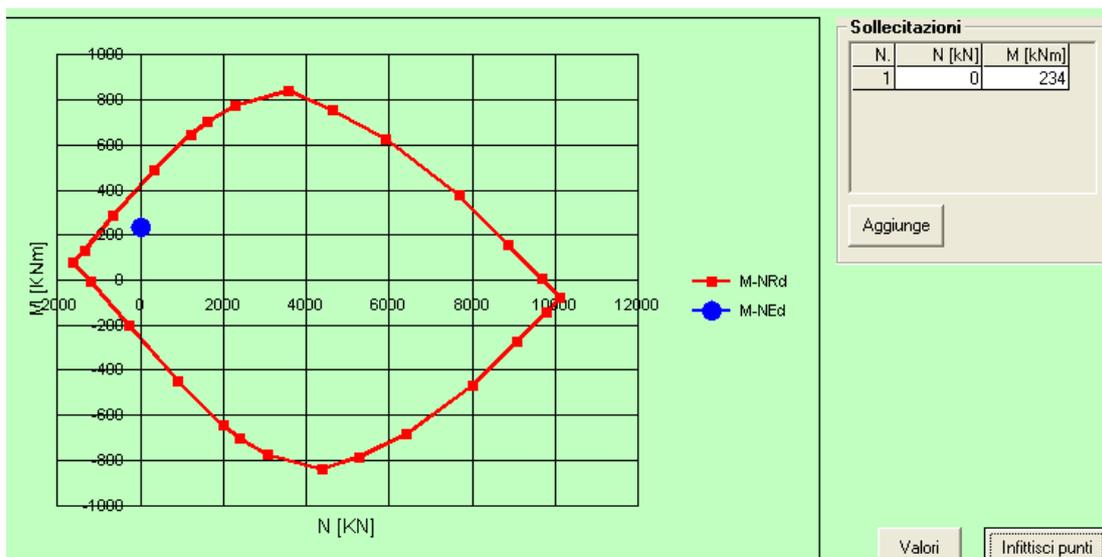
**Materiali**

B450C		C32/40	
$\epsilon_{su}$	10 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391,3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	17
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0,8 ?
$\epsilon_{syd}$	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,7333
		$\tau_{c1}$	2,114

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$   ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 c

**Verifica**  
 N° iterazioni:

Precompresso



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV01-05-003-A01 <span style="float: right;">Foglio 68 di 68</span>

## Verifica a taglio

La sezione non necessita di armatura a taglio integrativa  
 Di seguito si riporta la verifica a taglio

$R_{ck}$	<b>40</b> N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	<b>25</b> N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctm}$	3,16 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_C$	<b>1,6</b>
$\gamma_S$	<b>1,15</b>

$f_{cd}$	15,625 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd}$	1,97 N/mm <sup>2</sup>

$\phi$	<b>20</b>
strati	<b>1</b>
s	<b>0,2</b> m
$A_{sl}$	1571 mm <sup>2</sup>
$f_{ywd}$	374 N/mm <sup>2</sup>

$b_w$	<b>1</b> m
d	<b>0,44</b> m
$\delta$	<b>1</b>
r	1,16
$\rho_l$	0,00357

$V_{Ed}$	211 kN
----------	--------

<b><math>V_{Sdu}</math></b>	<b>297 kN</b>	(verifica conglomerato)
-----------------------------	---------------	-------------------------

Coefficiente di sicurezza:

$V_{Rd}/V_{Ed}$	<b>1,41</b>
-----------------	-------------

## Verifica a fessurazione

Si omettono le verifiche di fessurazione poiché il tasso di lavoro dell'acciaio risulta inferiore a 160MPa.  
 Si riporta di seguito il calcolo delle sollecitazioni nei materiali della sezione in esame: