

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

## PROGETTO DEFINITIVO

## RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

### OPERE PRINCIPALI – GALLERIE ARTIFICIALI

Galleria artificiale dal km 83+179 al km 83+209

Relazione di calcolo imbocchi

SCALA:

-

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

I V 0 1    0 0    D    2 6    C L    G A 1 7 0 0    0 0 2    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Soave <i>C. Soave</i>	Gennaio 2022	M. Severi <i>M. Severi</i>	Gennaio 2022	G. Fadda <i>G. Fadda</i>	Gennaio 2022	A. Perego Gennaio 2022



File: IV0100D26ROGA1600001A.doc

n. Elab.: X



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

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.  
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM  
83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 002	A	2 di 24

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI .....	6
3.2	DOCUMENTI CORRELATI .....	6
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	7
5.1	CALCESTRUZZI .....	7
5.2	ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO .....	7
6	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA .....	8
7	CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....	8
8	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	10
9	APPROCCIO PROGETTUALE .....	11
10	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA GALLERIA ARTIFICIALE .....	11
10.1	INTRODUZIONE .....	11
10.2	ANALISI DEI CARICHI .....	13
10.2.1	<i>Peso proprio</i> .....	13
10.2.2	<i>Permanenti portati</i> .....	13
10.2.3	<i>Spinta del terreno</i> .....	13
10.2.4	<i>Sovraccarico variabile dovuto al traffico ferroviario</i> .....	13
10.2.5	<i>Carico variabile a tergo dei paramenti</i> .....	14
10.2.6	<i>Azione sismica</i> .....	14
10.3	STATI LIMITE CONSIDERATI .....	15
10.3.1	<i>Stati limiti ultimo</i> .....	15



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

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.  
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM  
83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 002	A	3 di 24

10.3.2	Stati limiti di esercizio .....	16
10.4	COMBINAZIONI DI CARICO .....	16
10.5	RISULTATI DEL MODELLO DI CALCOLO .....	19
10.6	VERIFICHE STRUTTURALI.....	22
10.7	INCIDENZA DI ARMATURA .....	24



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

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.  
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM  
83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 002	A	4 di 24

## 1 PREMESSA

La presente relazione è inerente alla verifica degli imbocchi della galleria artificiale da km 83+178 al km 83+209, opera individuata con il codice GA17 nell'ambito del progetto di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia, tratta Finale Ligure-Andora.

Sono inoltre presenti opere di imbocco di lunghezza pari a 13.10 m e 17.0 m rispettivamente lato Ventimiglia e lato Genova.

Si tratta, in particolare delle seguenti opere:

- Zona imbocco lato Ventimiglia da Prog 83+222.300 a Prog. 83+209.230; muro ad U con solettone di fondo di spessore pari ad 1.50m, larghezza netta pari a 13.0m e pareti con larghezza alla base pari a 1.45 m e altezza massima di 10.45 m;
- Zona imbocco lato Genova da Prog 83+179.230 a Prog. 83+162.230; come imbocco lato Ventimiglia;
- Sezione corrente da Prog 83+179.230 a Prog. 83+209.230 per un totale di 30.0 m di estensione: galleria artificiale costituita da piedritti di larghezza pari a 1.40 m; solettone di copertura e di fondazione di spessore 1.50m, larghezza interna netta pari a 13.0 m.

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione ha per oggetto la verifica dei muri ad “U” dell’opera scatolare, utilizzabile per attraversamenti ferroviari.

La seguente figura illustra la sezione dell’imbocco in corrispondenza dell’ingresso della galleria.

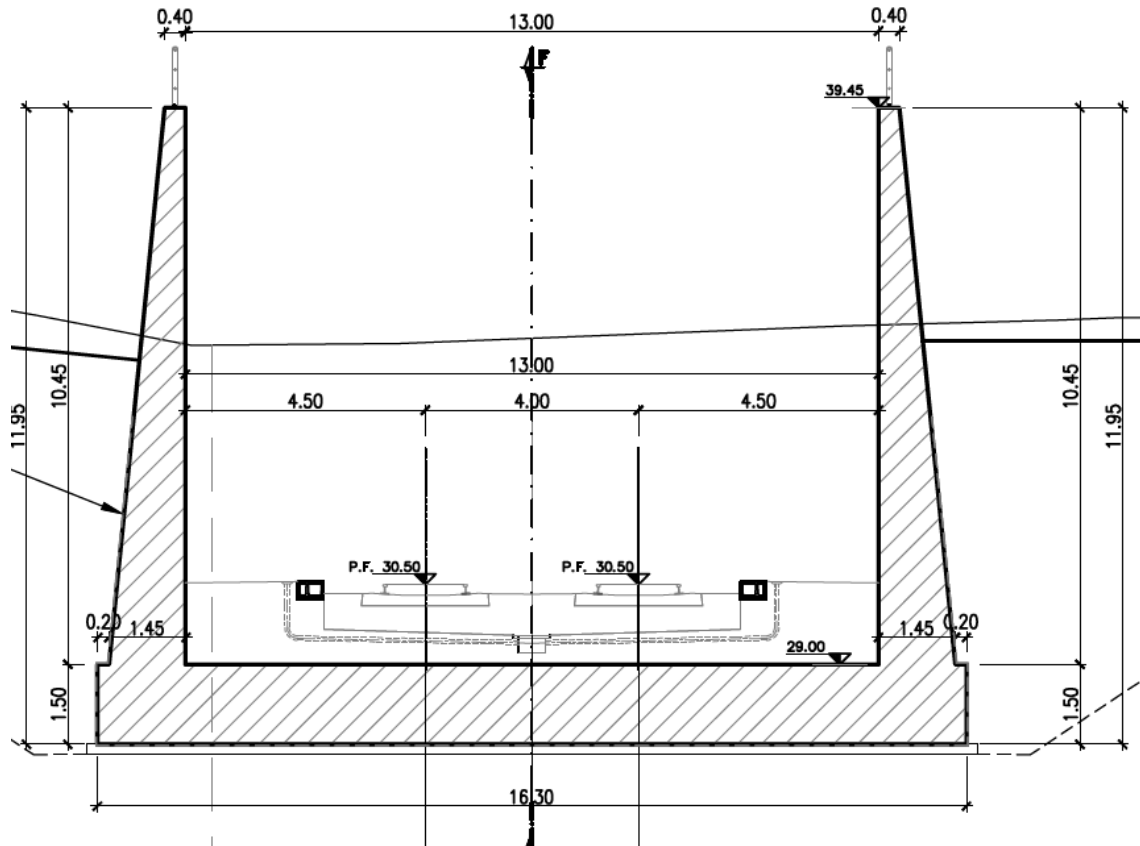



Figura 2-1 Sezione di massima altezza dell'imbocco della GA17

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [1] <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA</b>					
GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI	COMMESSA <b>IV01</b>	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO GA 17 00 002	REV. A	FOGLIO 6 di 24

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Documenti Referenziati

Nella presente relazione, si è fatto riferimento ai seguenti elaborati grafici:

- [I] Planimetria generale dell'intervento (IV0100D26P8GA1700001A)
- [II] Sezione longitudinale (IV0100D26PAGA1700001A)
- [III] Sezioni trasversali galleria e imbocchi (IV0100D26WBGA1700001A)
- [IV] Particolari, dettagli e finiture (IV0100D26BZGA1700001A)

#### 3.2 Documenti Correlati

I documenti di calcolo correlati alla presente sono:

- [V] Relazione descrittiva (IV0100D26ROGA1700001A)
- [VI] Relazione di calcolo galleria (IV0100D26CLGA1700001A)

### 4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli sono svolti in ottemperanza alla Normativa vigente :

- NTC 2018 – D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018;
- RFI-DTC-ICI-PO SP INF 001 A - Istruzione per la progettazione e l'esecuzione di ponti ferroviari;
- RFI-DTC-ICI-PO SP INF 004 A - Istruzione 44B – istruzioni tecniche per la progettazione di manufatti sotto binario da costruire in zona sismica;



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

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.  
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM  
83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 002	A	7 di 24

## 5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 5.1 Calcestruzzi


#### Calcestruzzo per imbocchi

Classe di esposizione ambientale	XC4
Classe di resistenza caratteristica a compressione	C32/40
Classe di resistenza allo scarico	S4

### 5.2 Acciaio da cemento armato

È previsto l'utilizzo di acciaio appartenente alla classe B450C, con le seguenti caratteristiche:

Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ ;
Resistenza caratteristica a rottura	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$ ;
Modulo elastico	$E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$ .

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [1] <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA</b>					
	GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI	COMMESSA <b>IV01</b>	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO GA 17 00 002	REV. A

## 6 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA

Per il calcolo delle strutture è stato fatto riferimento alle caratteristiche riportate nella seguente tabella relative al materiale di reinterro previsto.

Angolo di attrito [°]	35
Peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	20

**Tabella 6-1 Caratteristiche terreno di reinterro**

La falda è stata considerata al di sotto del piano di fondazione della struttura scatolare.

## 7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La opera in progetto si trova nella località di Campochiesa (SV) in un sito con le seguenti coordinate geografiche: Latitudine 44.07641 , Longitudine 8.18954.

Alle strutture di tipo definitivo, si attribuisce una vita nominale  $V_N$  pari a 75 anni e una classe d'uso III a cui corrisponde il coefficiente  $C_u$  pari a 1.5 (Tab. 2.4.I e Tab. 2.4.II, NTC 2018 – D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018). Di conseguenza il periodo di riferimento per la definizione dell'azione sismica risulta pari a  $V_R = V_N \cdot C_U = 112.5$  anni.

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica,  $P_{VR}$ , attribuita allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), nel periodo  $V_R$  dell'opera in progetto, si determina il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma di progetto. Sulla base delle coordinate geografiche del sito e del tempo di ritorno del sisma di progetto,  $T_R$ , sopra definito, si ricavano i parametri che caratterizzano il sisma di progetto relativo al sito di riferimento, rigido ed orizzontale:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T^*c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per le opere di imbocco il periodo di ritorno si determina con l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Per tenere conto dei fattori locali del sito, l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito è valutata con la relazione (DM 14/01/2018):

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)$$

dove:

$a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

$S_s$  è il fattore di amplificazione stratigrafica del terreno, funzione della categoria del sottosuolo di fondazione e dei parametri sismici  $F_0$  e  $a_g/g$  (Tabella 3.2.IV del D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018);



$S_T$  è il fattore di amplificazione che tiene conto delle condizioni topografiche, il cui valore dipende dalla categoria topografica e dall'ubicazione dell'opera (Tabella 3.2.V del D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018).

Sulla base delle evidenze riscontrata in sito si assegna una categoria di sottosuolo B.

I valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica sono riepilogate nella seguente tabella.

Vita Nominale dell'opera	$V_N$	75	anni
Coefficiente D'uso	$C_u$	1.5	
Periodo di riferimento	$V_R$	112.5	anni
Probabilità di Superamento Evento	$P_{VR}$	10	
Periodo di Ritorno	$T_R$	1068	anni
Acc. orizzontale di picco al sito	$a_g$	0.177	g
Amplificazione Spettrale max.	$F_0$	2.461	
Categoria sottosuolo		B	
Categoria topografica		T1	
Coeff. di amp. stratigrafica	$S_s$	1.20	
Coeff. di amp. Topografica	$S_T$	1	

**Tabella 7-1 Parametri sismici considerati per la valutazione dell'azione sismica per l'opera in esame**

In base alle accelerazioni massima attese sul sito in esame si valutano, con le espressioni che seguono, i coefficienti di intensità sismica da utilizzarsi nelle analisi pseudo statiche che seguono.

$$k_h = \beta_m \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.50 \cdot k_h$$

Il coefficiente  $\beta_M$  assume valore unitario.

Pertanto nei modelli di calcolo si considera:

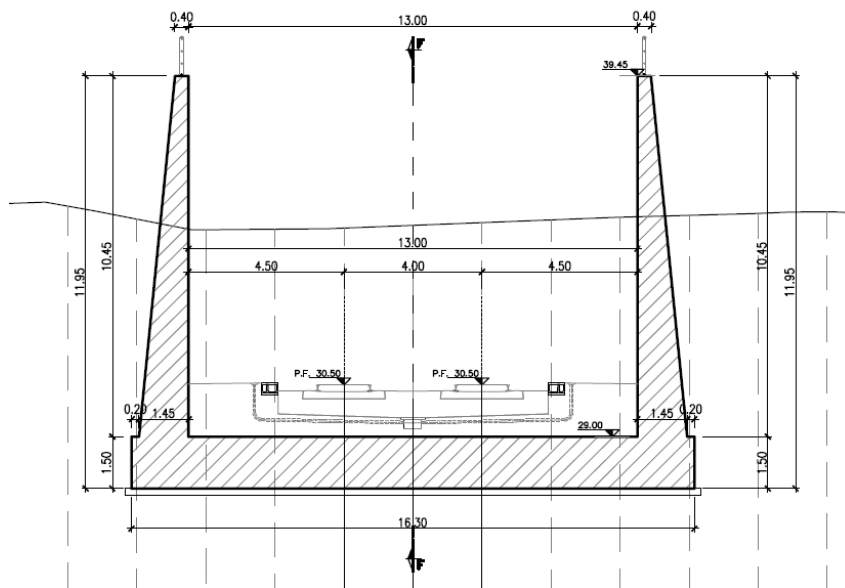
$$k_h = 0.212$$

$$k_v = \pm 0.106$$

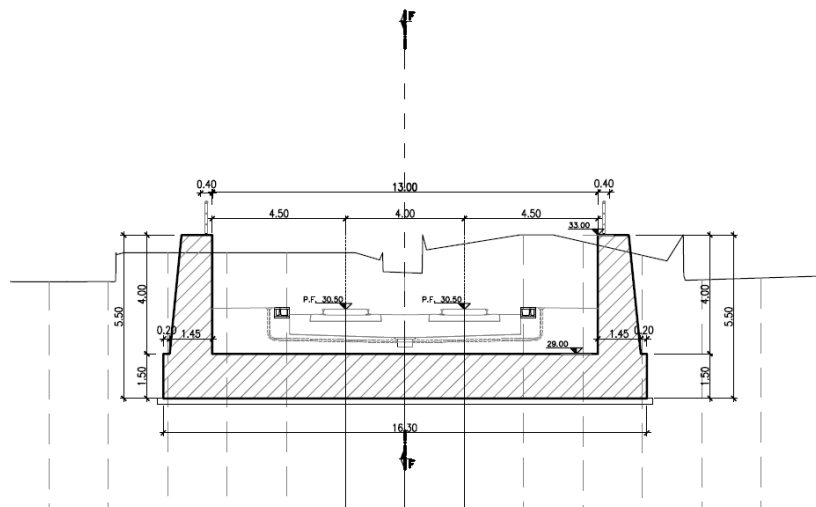
## 8 DESCRIZIONE DELL'OPERA

All'imbocco della galleria sono presenti dei muri ad U caratterizzati da un tratto ad altezza variabile. La superficie dei piedritti a contatto con il terreno ha un'inclinazione di 1:10 ed una larghezza in testa pari a 40 cm. I paramenti hanno un'altezza variabile da 10,45 m a 4 m.


Sono di seguito riportate le due sezioni di altezza massima e minima.



**Figura 8-1 Sezione muro di imbocco (Hmax=10.45 m)**



**Figura 8-2 Sezione muro di imbocco (Hmin=4.00 m)**

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [1] <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA</b>					
GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI	COMMESSA <b>IV01</b>	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO GA 17 00 002	REV. A	FOGLIO 11 di 24

## 9 APPROCCIO PROGETTUALE

Le verifiche strutturali eseguite per il dimensionamento degli imbrocchi della GA17 sono state svolte in accordo alle NTC2018.

Per il dimensionamento strutturale della sezione in esame è stato implementato un modello di calcolo con il software Midas Gen.

## 10 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA GALLERIA ARTIFICIALE

### 10.1 Introduzione

Viene di seguito illustrato il modello di calcolo e le verifiche strutturali svolte per il dimensionamento della sezione di imbocco relativa alla galleria GA17.

La struttura scatolare è stata modellata con il software Midas Gen 2021 implementando un modello di calcolo bidimensionale che rappresenta una sezione trasversale di spessore unitario con elementi beam aventi sezione pari a 1.0 m di larghezza e altezza pari a 1.50 per la soletta di fondazione e 1.20 e 0.40 m per i paramenti, per tenere conto dell'inclinazione degli stessi. Agli elementi è stato assegnato il materiale corrispondente al calcestruzzo di classe C32/40.

La soletta di fondazione viene studiata con il modello di trave su suolo alla Winkler, cioè assimilabile ad un letto di molle elastiche non lineari (sola compressione) di opportuna rigidità mutuamente indipendenti. Il valore di rigidità di tali molle deve essere calibrato considerando sia le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione, sia le dimensioni geometriche della fondazione stessa.

Nel modello di calcolo, la rigidità delle molle è stata definita facendo ricorso ai contributi di Terzaghi e Peck (1948). In particolare, per una fondazione di larghezza B e lunghezza L situata su terreni di natura incoerenti, la rigidità delle molle  $k_s$  è assunta pari:

$$k = k_1 \cdot \frac{L/B + 0.5}{1.5 \cdot L/B}$$

$k_1$  indica il valore ottenuto da una prova di carico su piastra quadrata di lato unitario. In particolare, Viggiani (1999) propone i seguenti valori di costante di reazione  $k_1$  del terreno per terreni incoerenti:

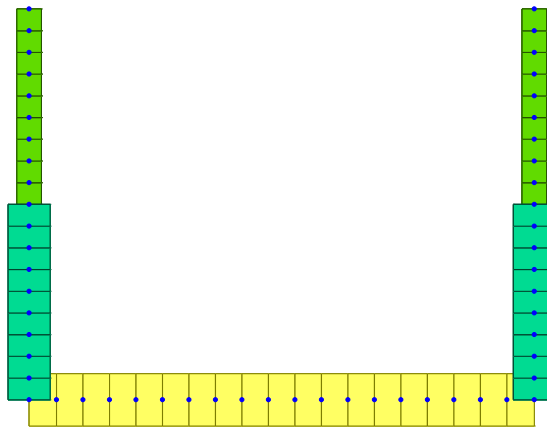
Tipo di sabbia		Stato di addensamento		
		Sciolto	Medio	Denso
Campo		7÷20	20÷100	100÷350
Non satura	Val. consigliato	15	50	175
Satura	Val. consigliato	10	30	110

**Tabella 10-1 Valori tipici di  $k_1$  [N/cm<sup>3</sup>] per terreni incoerenti (Viggiani, 1999)**

Nel caso in esame, il valore di  $k_1$  è stato assunto pari a 30 N/cm<sup>3</sup>.

Nel modello di calcolo è stato assunto un valore di rigidezza pari a circa 21000 kN/m.

La seguente figura illustra la sezione considerata nel modello di calcolo.



**Figura 10-1: Sezione trasversale implementata nel modello di calcolo**



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

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 002	A	13 di 24

## 10.2 Analisi dei carichi

### 10.2.1 Peso proprio

Il peso proprio della struttura è stato calcolato considerando un peso di volume del c.a. assunto pari a 25 kN/m<sup>3</sup>.

### 10.2.2 Permanenti portati

Di seguito sono stati riassunti i valori dei carichi permanenti portati che competono la soletta inferiore:

Ballast+Armamento	22	kN/m <sup>3</sup>
Sub Ballast	25	kN/m <sup>3</sup>
Misto Stabilizzato	20	kN/m <sup>3</sup>
Ricoprimento	20	kN/m <sup>3</sup>
Permanenti totali (striscia di 1m)	35.1	kN/m

Tabella 10-2 Calcolo carico gravante sulla soletta superiore dovuto al pacchetto ferroviario

### 10.2.3 Spinta del terreno

Il calcolo della spinta del terreno agente sui piedritti dello scatolare è stata valutata in condizioni di riposo, assumendo un coefficiente di spinta a riposo pari a  $k_0 = 1 - \sin \varphi'$ , dove  $\varphi'$  indica l'angolo di attrito del terreno di rinterro.

### 10.2.4 Sovraccarico variabile dovuto al traffico ferroviario

Si introduce il sovraccarico variabile dovuto al traffico ferroviario valutato considerando i 4 treni di carico del modello LM71 amplificati considerando linee a ridotto standard manutentivo ( $\phi_3=1.35$ ) e il relativo coefficiente di adattamento ( $\alpha=1.1$ ), ripartito come indicato nella tabella seguente.

Il carico rappresentativo del traffico ferroviario è stato assunto pari a 50 kPa, come di seguito riportato.

$$treno = 1.35 * 1.1 * \frac{4 * 250}{4 * 1.6} * \frac{1}{4.5} \cong 50kPa$$

	Ripartizione	Diffusione	h [m]	Largh. Diffusione [m]
Ballast+Armamento	1/4	0.25	0.8	0.2
Sub Ballast	1/4	0.25	0.7	0.175
Misto Stabilizzato	1/1	1	0	0
Ricoprimento	1/1	1	0	0
Semi spess. soletta	1/1	1	0.75	0.75
Larghezza della Traversina		B <sub>o</sub>	2.40	m
Larghezza di diffusione massima		B <sub>max</sub>	4.65	m
Larghezza di diffusione effettiva		L <sub>d</sub>	4.65	m

**Tabella 10-3 Calcolo della larghezza di diffusione del carico ferroviario fino all'asse della soletta di fondazione**

### 10.2.5 Carico variabile a tergo dei paramenti

È stato previsto agente a tergo del paramento sinistro della struttura di imbocco un carico variabile di intensità pari a 20 kPa.

### 10.2.6 Azione sismica

L'azione sismica è valutata con riferimento alle indicazioni riportate nelle NTC2018.

Le verifiche sismiche sono condotte seguendo un'analisi di tipo pseudostatica. Nel caso dell'analisi pseudostatica si applicano alla struttura, in aggiunta agli altri carichi già presenti, le forze d'inerzia sulla struttura e l'azione dinamica del terreno rappresentate da carichi statici equivalenti.

I coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  sono valutati mediante le relazioni:

$$k_h = \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5k_h$$

dove:

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



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

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 002	A	15 di 24

I parametri sismici utilizzati per lo stato limite SLV sono riportati al Capitolo 7.

L'incremento della spinta del terreno dovuto all'azione sismica, agente sulle pareti dello scatolare, è stata valutato con la teoria di Wood (1973). Secondo tale teoria, l'incremento di sforzo sismico da assumere per una parete di spessore unitario è dato dall'espressione:

$$\Delta P_d = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \gamma \cdot H$$

Dove  $\gamma$  e  $H$  indicano il peso specifico del terreno e l'altezza della struttura.

Le forze inerziali agenti a livello dell'impalcato dello scatolare sono quelle dovute al peso del manto stradale e del ricoprimento, oltre a quelle prodotte dall'impalcato e da metà dei piedritti dello scatolare, valutate secondo la seguente espressione:

$$\Delta P_d = k_n \cdot W$$

### 10.3 Stati limite considerati

#### 10.3.1 Stati limiti ultimo

Gli stati limite ultimi considerati sono riferiti alle seguenti combinazioni:

SLU combinazione STATICA  $\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q Q + \gamma_Q \sum \psi_{0i} Q_i$

SLU combinazione SISMICA  $E + G_1 + G_2 + \sum \psi_{2i} Q_i$

Per il caso in esame, i coefficienti adottati sono:

$$\gamma_{G1} = 1.35 \text{ se A1+M1; } 1 \text{ se favorevole}$$

$$\gamma_{G2} = 1.5 \text{ se A1+M1; } 0 \text{ se favorevole}$$

$$\gamma_Q = 1.45 \text{ se A1+M1; } 0 \text{ se favorevole}$$

Per ciascuna azione variabile, sono stati considerati i coefficienti di combinazione riportati nella seguente tabella:

Carico	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2(*)$
Cario del treno	0.8	0.8	0

**Tabella 10-4 Coefficienti di combinazione. NTC 2018**

(\*) Nella combinazione sismica è stato assunto il coefficiente  $\psi_2=0.2$ , in accordo con quanto riportato al paragrafo 5.1.3.12 delle NTC 2018.



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

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.  
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM  
83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 002	A	16 di 24

Per le combinazioni in esame, le sollecitazioni risultanti vanno confrontate con la resistenza a rottura delle sezioni in calcestruzzo armato, determinata dalle seguenti caratteristiche di resistenza dei materiali:

$$R_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 33.2 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 33.2 \times 0.85 / 1.5 = 26.72 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 450 / 1.15 = 391.3 \text{ MPa}$$

### 10.3.2 Stati limiti di esercizio

Le strutture in esame rientrano nella classe di esposizione XC3 riferibile a condizioni ambientali *ordinarie*. L'armatura è di tipo *poco sensibile*. In considerazione di ciò, gli stati limite di esercizio considerati sono:

SLE combinazione RARA:  $G_1 + G_2 + Q_1 + \sum \psi_{0i} Q_i$

Limiti tensionali:  $\sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 0.55 \times 33.2 = 18.26 \text{ MPa}$

$$\sigma_s = 0.75 \times f_{yk} = 0.75 \times 450 = 337.5 \text{ MPa}$$

Limiti fessurativi:  $w_d \leq 0.2 \text{ mm}$

### 10.4 Combinazioni di carico

Le sollecitazioni allo SLU e allo SLE sono state calcolate secondo le seguenti combinazioni di calcolo previste nelle NTC 2018:

- SLU combinazione fondamentale statica:

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \Psi_{02} Q_{k2} + \gamma_{Q3} \Psi_{03} Q_{k3}$$

- SLU e SLE combinazione sismica:

$$E + G_1 + G_2 + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3}$$

- SLE combinazione caratteristica rara:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \Psi_{02} Q_{k2} + \Psi_{03} Q_{k3}$$

- SLE combinazione frequente:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{11} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3}$$



GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 002	A	17 di 24

- SLE combinazione quasi permanente:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3}$$

In Tabella 10-5 sono riportati i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi.

I valori dei coefficienti  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  per le diverse categorie di azioni sono riportati nelle seguenti tabelle.

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qt}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{e1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

**Tabella 10-5 Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico (SLU)**

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
Vento $q_5$	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	---	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
	5	0,0	0,0	0,0
Neve $q_5$	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	$T_k$	0,6	0,6	0,5

**Tabella 10-6 Coefficienti di combinazione previsti dalla normativa per carichi stradali**

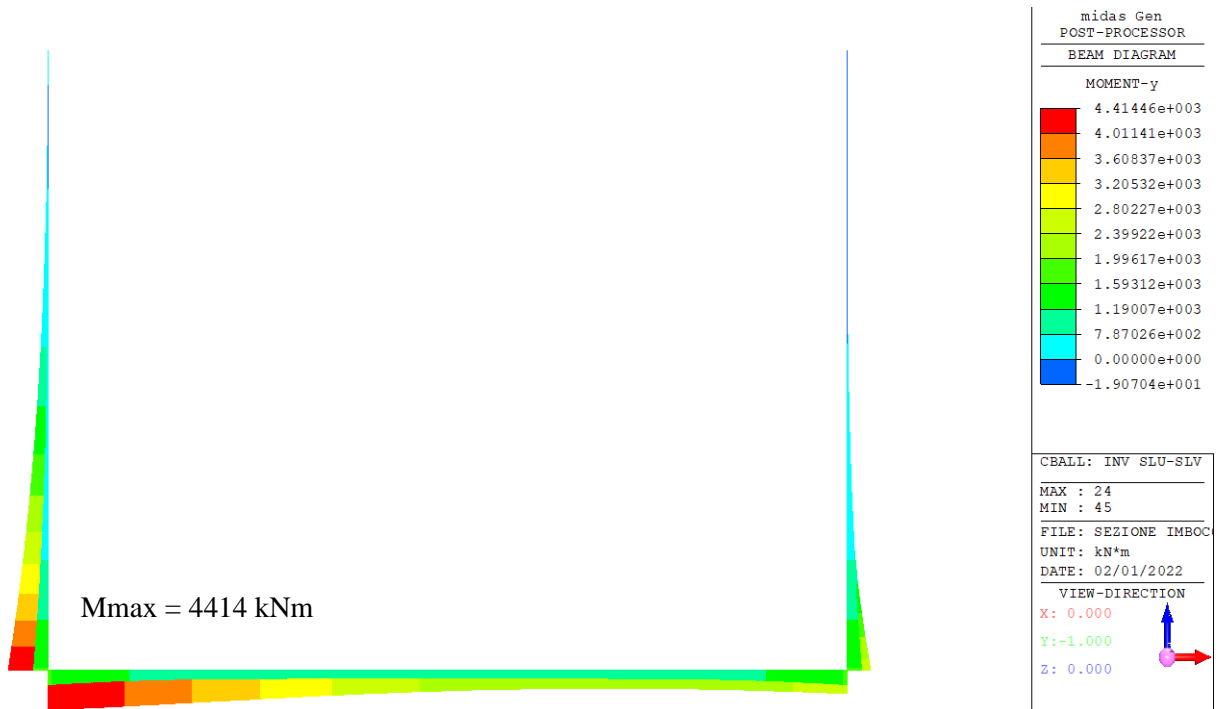
Si riporta infine una tabella riepilogativa con tutte le combinazioni di carico analizzate nelle analisi numeriche eseguite .

Comb.	Peso proprio	Carico permanenti portati	Spinta statica del terreno a riposo(ST)	Treno	Carico variabile	Azione sismica inerz (h)	Incremento azione sismica inerziale
SLU_1 T-CV	1.35	1.5	1.35	1.45	1.05	0	0
SLU_2 CV-T	1.35	1.5	1.35	1.16	1.5	0	0
SLER_1 T-CV	1	1	1	1	0.7	0	0
SLER_2 CV-T	1	1	1	0.8	1	0	0
SLE QP	1	1	1	0	0	0	0
SLEF_1	1	1	1	0.8	0	0	0
SLEF_2	1	1	1	0	0.6	0	0
SLV_1	1	1	1	0.2	0.6	1	1

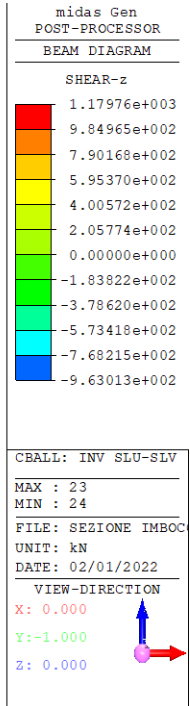
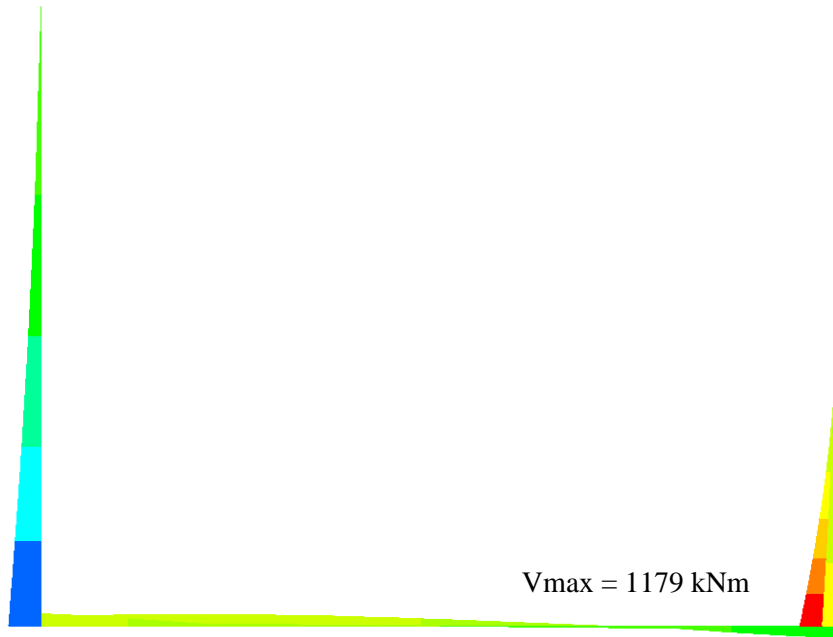
**Tabella 10-7 Combinazioni di calcolo considerate nel modello numerico**

## 10.5 Risultati del modello di calcolo

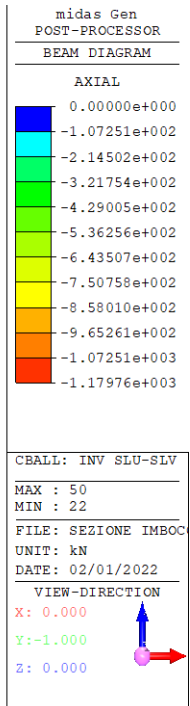
Si riportano nelle figure seguenti gli involuipi delle sollecitazioni allo SLU-SLV, SLE Rara, frequente e quasi permanente, in termini di momento flettente, taglio e sforzo assiale, per lo schema di carico considerato.



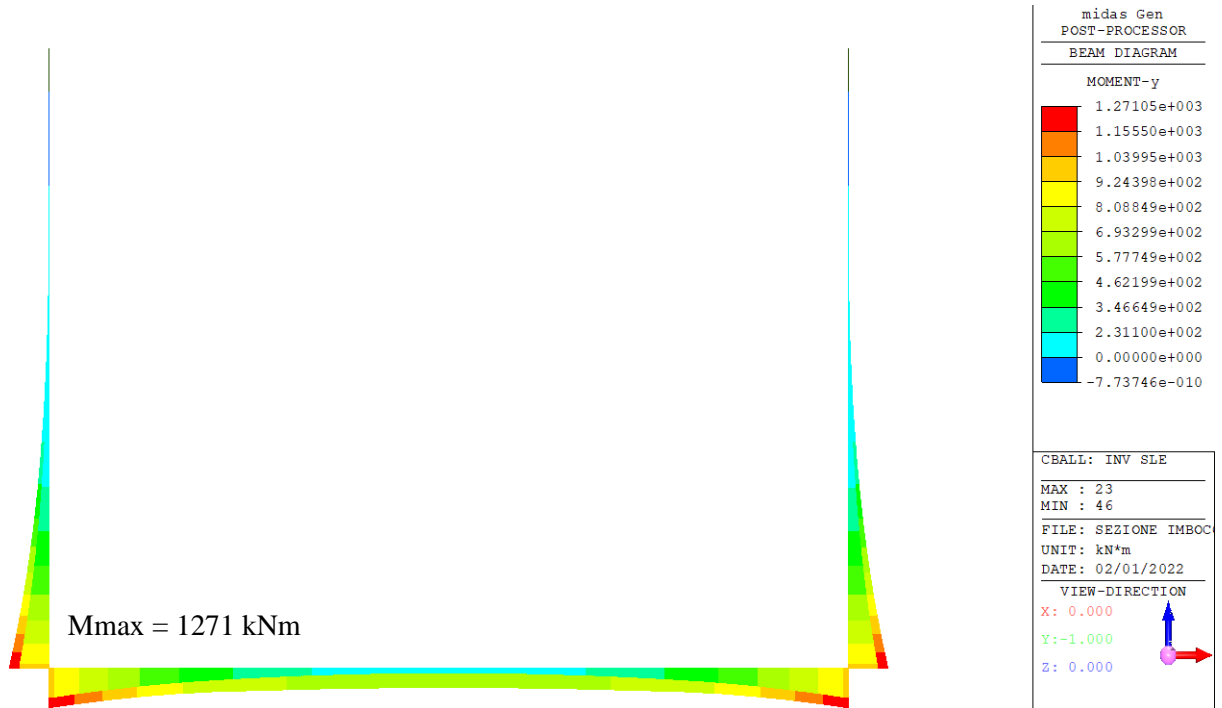
**Figura 10-2 Involuppo SLU SLV Momento flettente**



**Figura 10-3 Inviluppo SLU SLV Taglio**



**Figura 10-4 Inviluppo SLU SLV Azione assiale**



**Figura 10-5 Inviluppo SLE Momento flettente**

La seguente tabella riepiloga i risultati ottenuti.

	Inviluppo SLU SLV			Inviluppo SLE
	Momento flettente [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Azione assiale [kN/m]	Momento flettente [kNm/m]
Soletta – Sez. di mezzeria	2080	-	518	624
Soletta– Sez. di incastro	4415	359	518	1271
Piedritto – Sez. di incastro	4415	1180	359	1271

**Tabella 10-8 Risultati ottenuti dal modello di calcolo**







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

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.  
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE DAL KM 83+179 AL KM  
83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 002	A	24 di 24

## 10.7 Incidenza di armatura

La seguente tabella riepiloga i risultati ottenuti in termini di incidenza di armature per la sezione tipologica dello scatolare.

	Incidenza [kg/cm <sup>3</sup> ]
Soletta inferiore	75
Paramento muro	90

**Tabella 10-13 Riepilogo incidenze di armatura per la sezione tipologica ad “U” degli imbocchi**