

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

### PROGETTO DEFINITIVO

NODO INTERMODALE DI BRINDISI  
INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE  
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA  
NAZIONALE

### OPERE IDRAULICHE

IN11 - Recapito al Canale di Levante: relazione di calcolo

SCALA:

-

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

I A 7 L 0 0 D 1 0 C L I N 1 1 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L. Dinelli 	Maggio 2020	A. Ciavarella 	Maggio 2020	T. Paolletti 	Maggio 2020	L. Berardi Maggio 2020 

<b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Recapito al Canale di Levante: relazione di calcolo</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	2 di 72

## INDICE

1. PREMESSA .....	5
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1. DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO .....	7
2.2. NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	7
2.3. SOFTWARE .....	8
3. MATERIALI .....	9
3.1. CALCESTRUZZO CANALI .....	9
3.2. ACCIAIO D'ARMATURA.....	9
3.3. VERIFICA S.L.E.....	10
3.3.1. <i>Verifica tensioni</i> .....	10
3.3.2. <i>Verifica a fessurazione</i> .....	11
4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	13
5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	14
5.1. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO .....	14
5.2. PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA .....	14
6. DESCRIZIONE DELLE OPERE .....	18
7. CANALE A U.....	20
7.1. MODELLAZIONE ADOTTATA.....	20
7.2. ANALISI DEI CARICHI .....	23
7.2.1. <i>Peso proprio della struttura</i> .....	23
7.2.2. <i>Spinta del terreno</i> .....	23

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	3 di 72

7.2.3.	<i>Spinta sovraccarico accidentale a tergo dell'opera</i>	24
7.2.4.	<i>Azione sismica</i>	24
7.3.	COMBINAZIONI DI CALCOLO	26
7.4.	RISULTATI E VERIFICHE	28
7.4.1.	<i>Verifica piedritti s.0.3 m</i>	29
7.4.1.	<i>Verifica soletta s.0.3 m</i>	32
7.4.2.	<i>Incidenza</i>	35
8.	CANALE A U – RACCORDO SCATOLARE	36
8.1.	MODELLAZIONE ADOTTATA	36
8.2.	ANALISI DEI CARICHI	39
8.2.1.	<i>Peso proprio della struttura</i>	39
8.2.2.	<i>Spinta del terreno</i>	39
8.2.3.	<i>Spinta sovraccarico accidentale a tergo dell'opera</i>	40
8.2.4.	<i>Azione sismica</i>	40
8.3.	COMBINAZIONI DI CALCOLO	42
8.4.	RISULTATI E VERIFICHE	44
8.4.1.	<i>Verifica piedritti s.0.3 m</i>	45
8.4.2.	<i>Verifica soletta s.0.3 m</i>	48
8.4.3.	<i>Incidenza</i>	51
9.	SCATOLARE	52
9.1.	MODELLAZIONE ADOTTATA	52
9.2.	ANALISI DEI CARICHI	55
9.2.1.	<i>Peso proprio della struttura</i>	55

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	4 di 72

9.2.1. Carichi permanenti e accidentali .....	55
9.2.1. Spinta del terreno.....	56
9.2.2. Spinta sovraccarico permanente e accidentale.....	57
9.2.3. Azione sismica .....	58
9.3. COMBINAZIONI DI CALCOLO .....	60
9.4. RISULTATI E VERIFICHE .....	62
9.4.1. Verifica piedritti s.0.3 m .....	63
9.4.2. Verifica soletta inferiore s.0.3 m .....	66
9.4.1. Verifica soletta superiore s.0.3 m .....	69
9.4.2. Incidenza.....	72

## 1. PREMESSA

Nelle immediate vicinanze della stazione di Brindisi è presente una complessa realtà industriale principalmente legata al Porto e al polo petrolchimico. Il collegamento tra l'aera portuale e la stazione di Brindisi, ad oggi, è fortemente penalizzato da una moltitudine di intersezioni a raso all'interno di un'area fortemente urbanizzata.

Obiettivo della presente progettazione consiste nell'incentivare il traffico merci su ferro integrando il sistema portuale con il sistema ferroviario riducendo in questo modo le interferenze tra le attività di terminalizzazione ed il traffico urbano. Tale intervento presenta elevati vantaggi in termini di sicurezza in quanto, oltre ad allontanare il traffico merci da un tessuto urbano costituito da numerosi passaggi a livello, concentra le operazioni di manovra dei treni merci all'interno della nuova "stazione elementare".



Scopo della presente progettazione è la realizzazione del completamento dell'infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con l'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale.

Il progetto si compone di due lotti:

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
<b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>IN11 - Relazione di calcolo</b>	COMMESSA  IA7L	LOTTO  00	CODIFICA  D10CL	DOCUMENTO  IN1100001	REV.  A	FOGLIO  6 di 72

Lotto 1: opere a carico del Comune di Brindisi (a cura del Comune e in corso di realizzazione):

- Binario di corretto tracciato (Binario III) e precedenza in sinistra (Binario IV) della suddetta nuova Stazione Elementare;
- Nuova tratta ferroviaria di collegamento tra la Dorsale del Consorzio ASI di Brindisi (Porto di Brindisi) e la nuova Stazione Elementare per l'arrivo/partenza di treni merci a modulo 750m (circa 1,78 Km)

Lotto 2: opere a carico di RFI, oggetto della presente progettazione:

- Binari I e II della nuova stazione per l'arrivo/partenza treni di merci a modulo 750m
- Nuova tratta ferroviaria di collegamento tra la suddetta nuova Stazione Elementare e la linea Bari – Lecce (OO.CC. + armamento)
- Posto di comunicazione e bivio di collegamento della nuova tratta con la Linea Adriatica (al km 764+230 circa della linea Bari – Lecce)
- Impianti di trazione elettrica e apparati tecnologici della nuova stazione merci, della tratta di collegamento tra questa e la Linea Adriatica e del bivio sulla Linea Adriatica per l'allaccio della nuova linea.

Pertanto, il progetto risponde ai seguenti obiettivi:

- Realizzazione di una stazione a modulo 750 m, coerentemente con gli standard europei di trasporto merci;
- Velocizzazione delle attività di manovra e terminalizzazione, per accesso diretto dei treni provenienti da nord in una stazione dedicata a traffico merci, con itinerari di arrivo a 60 km/h;
- Integrazione del sistema ferroviario con quello portuale;
- Riduzione delle interferenze tra le attività di terminalizzazione su ferro e il traffico urbano, con vantaggi soprattutto in termini di sicurezza;
- Incentivo al traffico merci su ferro;
- Separazione del traffico merci, in parte altamente pericolose, dal traffico viaggiatori in stazione di Brindisi centrale.

La presente relazione riporta le verifiche strutturali del canale IN11.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>IA7L</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D10CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IN1100001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>7 di 72</p>

## 2. **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

### 2.1. **DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO**

Si riporta di seguito l'elenco dei documenti utilizzati per la stesura della presente relazione:

- [1] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Relazione Geotecnica Generale (Doc. IA7L00D10GEGE0006001)
- [2] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Profilo geotecnico di linea (Doc. IA7L00D10F7GE0006002)
- [3] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Profilo geotecnico stazione (Doc. IA7L00D10F7GE0006001)
- [4] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – IN11 - Recapito al Canale di Levante - Planimetria, Pianta scavi e Profilo longitudinale (Doc. IA7L00D10PZIN1100001)
- [5] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – IN11 - Recapito al Canale di Levante - Sezioni trasversali, Sezione tipo e Dettagli (Doc. IA7L00D10PZIN1100002)

### 2.2. **NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO**

Si riporta di seguito l'elenco delle normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente relazione:

- [6] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
<b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>IN11 - Relazione di calcolo</b>	COMMESSA  IA7L	LOTTO  00	CODIFICA  D10CL	DOCUMENTO  IN1100001	REV.  A	FOGLIO  8 di 72

[7] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"

[8] RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20.12.2019 - "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI".

### 2.3. SOFTWARE

[9] SAP 2000 – Computers and Structures Inc. (<http://www.csi-italia.eu/software/sap2000/>)



**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	9 di 72

### 3. MATERIALI

#### 3.1. CALCESTRUZZO CANALI

 Classe di resistenza C30/37  $R_{ck} \geq 37 \text{ N/mm}^2$ 

 Classe di esposizione ambientale XA1

 Copriferro nominale minimo 40 mm

 Resistenza di calcolo del calcestruzzo per la verifica agli SLU ( $\gamma_c = 1.5$ ):

Resistenza di calcolo a rottura per compressione:

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} \quad 30.7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad 38.7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c \quad 17.4 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza di calcolo a rottura per trazione:

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad 2.94 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk,5\%} = 0.70 \cdot f_{ctm} \quad 2.06 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c \quad 1.37 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cfm} = 1.2 \cdot f_{ctm} \quad 3.53 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cfk,5\%} = 0.70 \cdot f_{cfm} \quad 2.47 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cm} = 22.000 [f_{cm}/10]^{0.3} \quad 330169 \text{ N/mm}^2$$

#### 3.2. ACCIAIO D'ARMATURA

L'acciaio utilizzato è ad aderenza migliorata tipo B450C ed è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni di snervamento e rottura:


$$f_{y, \text{nom}} \quad 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t, \text{nom}} \quad 540 \text{ N/mm}^2$$

 Resistenza di calcolo dell'acciaio per la verifica agli SLU ( $\gamma_s = 1.15$ ):

Resistenza di calcolo a rottura per trazione e deformazione corrispondente:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s \quad 391.3 \text{ N/mm}^2$$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 10 di 72</p>

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s$$

0.186%

### 3.3. VERIFICA S.L.E.

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio, il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attesa, secondo quanto di seguito specificato.

#### 3.3.1. Verifica tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento quelli indicati nel documento "Manuale di progettazione Opere Civili".

#### Strutture in c.a.

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazione di carico caratteristica (rara):  $0,55 f_{ck}$ ;
- per combinazioni di carico quasi permanente:  $0,40 f_{ck}$ ;
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

##### Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare  $0,75 f_{yk}$ .

Nel caso in esame pertanto si ha:

#### CALCESTRUZZO

Massima tensione allo SLE per combinazione caratteristica (rara):

$$\sigma_c = 0,55 \cdot f_{ck}$$

16.89 N/mm<sup>2</sup>

Massima tensione allo SLE per combinazione quasi permanente:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
	<b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b>	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO IN1100001	REV. A

$$\sigma_c = 0.40 \cdot f_{ck}$$

$$12.28 \text{ N/mm}^2$$

ACCIAIO

Massima tensione allo SLE per combinazione caratteristica (rara):

$$\sigma_s = 0.75 f_{yk}$$

$$337.5 \text{ N/mm}^2$$

### 3.3.2. Verifica a fessurazione

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente [NTC – Tabella 4.1.IV]:


Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Tabella 3.1: criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e Condizioni Ambientali.

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4


Risultando  $w_1 = 0.2 \text{ mm}$        $w_2 = 0.3 \text{ mm}$        $w_3 = 0.4 \text{ mm}$

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
<b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>IN11 - Relazione di calcolo</b>	COMMESSA  IA7L	LOTTO  00	CODIFICA  D10CL	DOCUMENTO  IN1100001	REV.  A	FOGLIO  12 di 72

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si aggiungono in tal caso quelle fornite dal “Manuale di Progettazione delle Opere Civili” secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 14.1.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

$$\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 13 di 72</p>

#### 4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il terreno di fondazione è costituito dall'unità geotecnica Ls(ms) per la quale, in accordo con quanto riportato nella relazione geotecnica, si assume:

Unità	$\gamma$	$\phi$	$c'$	$E$
	kN/m <sup>3</sup>	°	kPa	MPa
Ls(ms)	19.0	28	3	9

La falda non risulta interferente con l'opera in esame.

Per le caratteristiche del terreno di rinterro a tergo dell'opera invece si considera:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 30^\circ$$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 14 di 72</p>

## 5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa.

### 5.1. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale ( $V_N$ ), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso ( $C_U$ )

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale  $V_N = 75$  anni e una classe d'uso III a cui è associato un coefficiente d'uso pari a  $C_U = 1.5$ .

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutati in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$  anni.

### 5.2. PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali), dipendono, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (periodo di riferimento per valutazione azione sismica) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

Categoria sottosuolo: C

In accordo a quanto riportato in Allegato A delle Norme Tecniche per le costruzioni DM 14.01.08, si ottiene per il sito in esame:

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 17.9376  
LATITUDINE: 40.6287

Ricerca per comune

REGIONE: Puglia  
PROVINCIA: Brindisi  
COMUNE: Brindisi

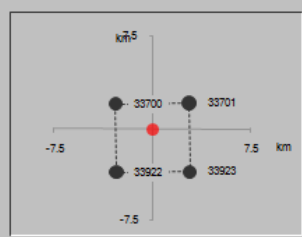
**Elaborazioni grafiche**

- Grafici spettri di risposta
- Variabilità dei parametri

**Elaborazioni numeriche**

- Tabella parametri

**Nodi del reticolo intorno al sito**




**Reticolo di riferimento**

Controllo sul reticolo:

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione: media ponderata



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

**Valori di progetto**

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="68"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="113"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1068"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2193"/>

**Elaborazioni**

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametrizzazione

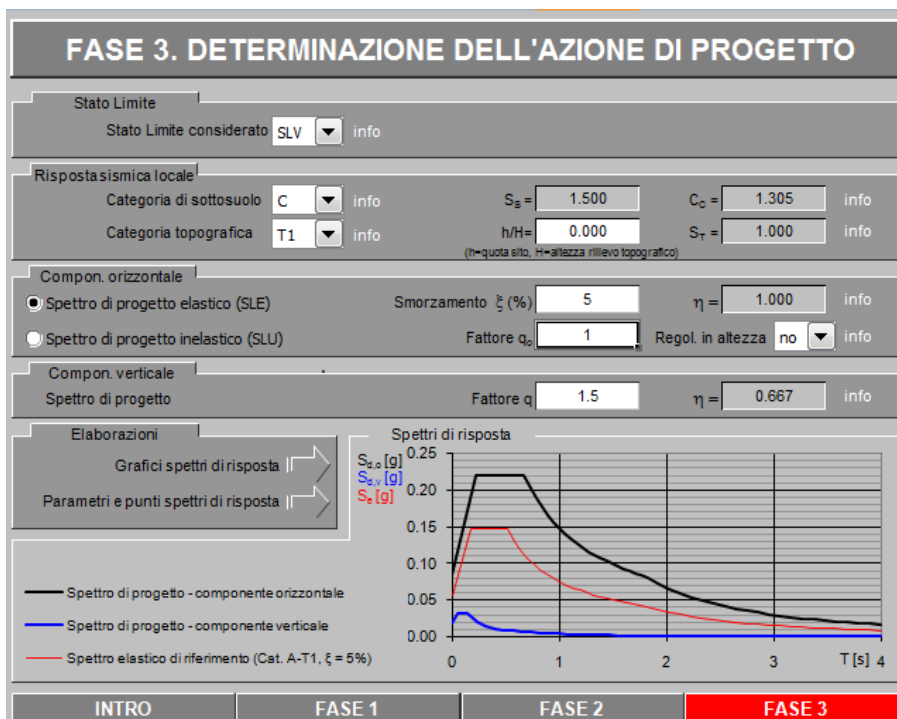
**LEGENDA GRAFICO**

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

**Strategia di progettazione**



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3



I valori delle caratteristiche sismiche ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) per gli stati limite di normativa sono dunque:

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	68	0.021	2.318	0.237
SLD	113	0.027	2.331	0.322
SLV	1068	0.056	2.621	0.518
SLC	2193	0.067	2.768	0.534

$a_g$  → accelerazione orizzontale massima del terreno, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

$F_0$  → 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;



**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	17 di 72

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV**
**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_n$	0.056 g
$F_0$	2.621
$T_C^*$	0.518 s
$S_S$	1.500
$C_C$	1.305
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.225 s
$T_C$	0.675 s
$T_D$	1.823 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{1.0 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_\xi(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_\xi(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.084
$T_B \leftarrow$	0.225	0.220
$T_C \leftarrow$	0.675	0.220
	0.730	0.203
	0.785	0.189
	0.839	0.177
	0.894	0.166
	0.949	0.156
	1.003	0.148
	1.058	0.140
	1.113	0.133
	1.167	0.127
	1.222	0.121
	1.277	0.116
	1.331	0.111
	1.386	0.107
	1.441	0.103
	1.495	0.099
	1.550	0.096
	1.605	0.092
	1.659	0.089
	1.714	0.087
	1.769	0.084
$T_D \leftarrow$	1.823	0.081
	1.927	0.073
	2.031	0.066
	2.134	0.059
	2.238	0.054
	2.342	0.049
	2.445	0.045
	2.549	0.042
	2.653	0.038
	2.756	0.036
	2.860	0.033
	2.964	0.031
	3.067	0.029
	3.171	0.027
	3.274	0.025
	3.378	0.024
	3.482	0.022
	3.585	0.021
	3.689	0.020
	3.793	0.019
	3.896	0.018
	4.000	0.017

## 6. DESCRIZIONE DELLE OPERE

La particolare conformazione morfologica dell'area compresa fra la pk 1+830 e la pk 2+900, unitamente agli elevati livelli idrici previsti nel Canale di Levante, non rendono possibile il recapito delle acque afferenti alla piattaforma ferroviaria mediante un semplice tombino di attraversamento del rilevato ferroviario. È pertanto prevista la realizzazione di una vasca di laminazione alla pk 1+850 in grado di accogliere le acque provenienti dal versante situato a nord della linea, e recapitarle al canale di Levante mediante un canale in c.a. con sezione rettangolare. Il canale in uscita dalla vasca di laminazione ha una lunghezza di circa 500 m ed una sezione ad U con dimensioni 1.5x1.5 m nella parte iniziale, e 1.5x1.7 m nella parte finale.

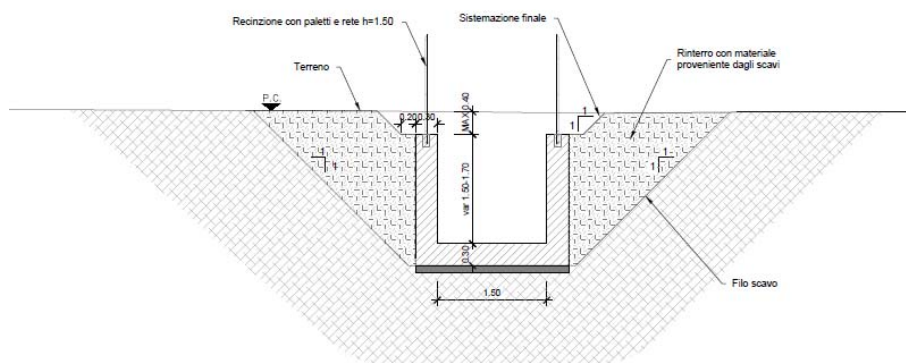


Figura 6.1: IN11 – sezioni tipo.

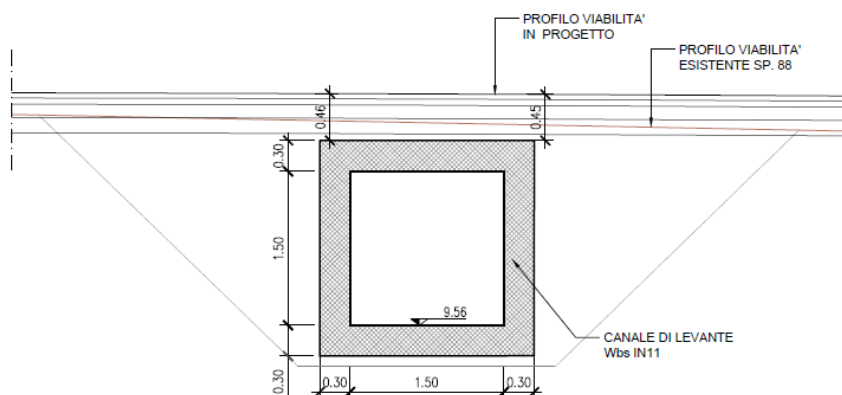


Figura 6.2: IN11 – sezione in corrispondenza SP88.

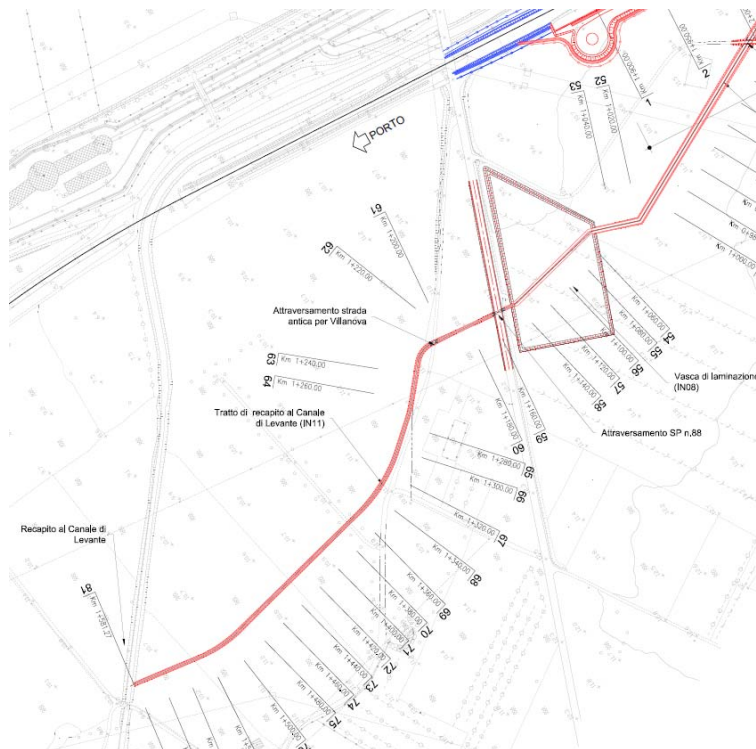


Figura 6.3: IN11 – planimetria.

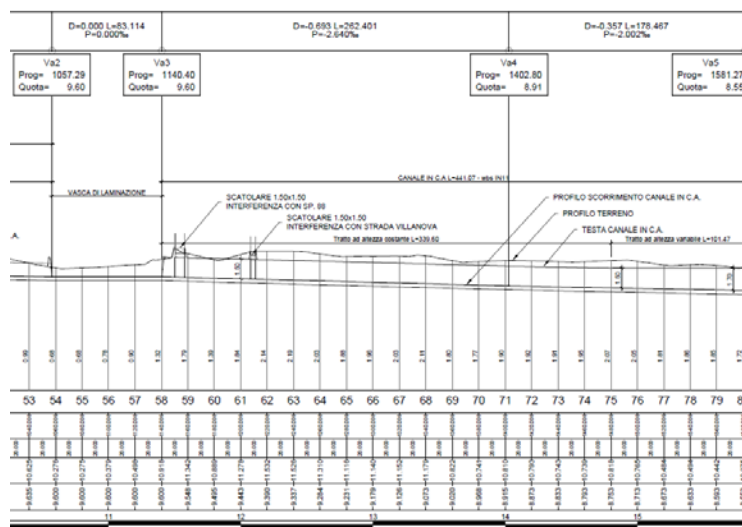


Figura 6.4: IN11 – profilo.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 20 di 72</p>

## 7. CANALE A U

### 7.1. MODELLAZIONE ADOTTATA

Lo schema statico prevede la soletta a contatto con il terreno schematizzata come una trave su molle alla Winkler, il cui valore è stato valutato nel seguito.

La costante di Winkler si calcola tramite la formula:

$$k = \frac{1}{B' \cdot E' \cdot 4 \cdot I_s \cdot I_F} \quad (\text{formulazione di Vesic, rif. "Fondazioni" – Bowles})$$

con:

$B' = B/2$  ( $B =$  larghezza della soletta di fondo)

$E$  modulo elastico del terreno

$\nu$  Coefficiente di Poisson del terreno

$$E' = \frac{1 - \nu^2}{E}$$

$$I_s = I_1 + \frac{1 - 2\nu}{1 - \nu} I_2 \quad \text{Coefficiente di Steinbrenner}$$

$I_F$  Coefficiente di forma (vedi Figura 7.1)

$$I_1 = \frac{1}{\pi} \left[ M \ln \frac{(1 + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{M^2 + N^2}}{M (1 + \sqrt{M^2 + N^2 + 1})} + \ln \frac{(M + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{1 + N^2}}{M + \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right]$$

$$I_2 = \frac{N}{2\pi} \tan^{-1} \frac{M}{N \sqrt{M^2 + N^2 + 1}}$$

Nel caso in esame si ha:

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	21 di 72

$$B = 2.1 \text{ m}$$

$$E = 9 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.3$$

$$N = H/B' = 2.0$$

$$M = L'/B' = 14.3$$

$$IF = 0.8$$

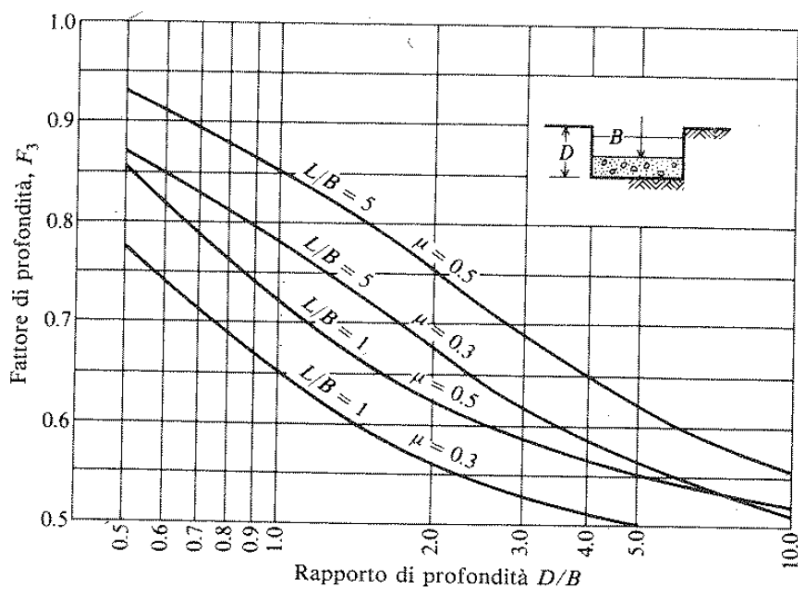


Figura 7.1: coefficiente di influenza  $IF$  per una fondazione collocata a profondità  $D$ .

E quindi  $k \approx 10000 \text{ kN/m}^3$ .

La costante elastica viene applicata ai nodi dell'elemento frame con cui viene modellata la soletta di fondo differenziando la rigidità delle molle dei nodi centrali da quelli laterali e da quelli di spigolo.

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	22 di 72

n	5	numero di elementi di divisione della soletta inf.
ks	10000 kN/m <sup>3</sup>	
Lint	1.5 m	larghezza interna dello scatolare
Sp	0.3 m	spessore dei piedritti
<b><u>RIGIDEZZA MOLLE CENTRALI</u></b>		
K <sub>centrali</sub>	3600 kN/m	
<b><u>RIGIDEZZA MOLLE DI SPIGOLO</u></b>		
K <sub>spigolo</sub>	6600 kN/m	
<b><u>RIGIDEZZA MOLLE INTERMEDIE</u></b>		
K <sub>intermedie</sub>	5400 kN/m	

L'analisi delle strutture è stata condotta mediante il programma di calcolo agli elementi finiti SAP2000, prodotto dalla Computer and Structures inc. di Berkeley, California, USA.

Lo schema statico impiegato è quello di telaio costituito da elementi frame; in corrispondenza della intersezione tra tali elementi il programma genera in automatico dei nodi per garantire la continuità strutturale. Ad ogni elemento è assegnata la corrispondente sezione rettangolare in calcestruzzo, la cui geometria è definita dallo spessore dell'elemento stesso per una larghezza unitaria, dal momento che la struttura è risolta come piana.

Per le verifiche delle sezioni si è adottato il programma RC-SEC – Autore GEOSTRU.

La dimensione interna è di 1.5 m, l'altezza interna massima è pari a 1.7 m, lo spessore della soletta e dei piedritti è pari a 0.3 m. Il piano campagna è a +0.4 m dalla testa del piedritto. In figura si riporta schematicamente la geometria dell'opera .

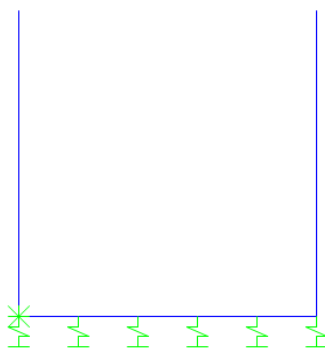


Figura 7.2: modello di calcolo.

**OPERE IDRAULICHE**

IN11 - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	23 di 72

## 7.2. ANALISI DEI CARICHI

### 7.2.1. Peso proprio della struttura

Il peso proprio della struttura è valutato automaticamente dal programma di calcolo attribuendo al c.a. un peso dell'unità di volume di  $25 \text{ kN/m}^3$ .

### 7.2.2. Spinta del terreno

Per la valutazione della spinta esercitata dal terreno quest'ultimo è stato considerato in condizioni di riposo pertanto il coefficiente di spinta è dato dalla relazione  $k_0 = 1 - \text{sen}\phi'$ .

SPINTA RIPOSO		
$\gamma_t$	19.00 $\text{kN/m}^3$	peso specifico terreno
$\phi'_k$	30 °	angolo attrito caratteristico
$\phi'_d$	30 °	angolo attrito di progetto
$k_0$	0.50 -	
$\sigma'_{h1}$ (z=0.4 m)	3.8 $\text{kN/m}^2$	tensione orizzontale quota testa piedritto
$\sigma'_{h2}$ (z=2.25 m)	21.8 $\text{kN/m}^2$	tensione orizzontale quota mezzeria soletta

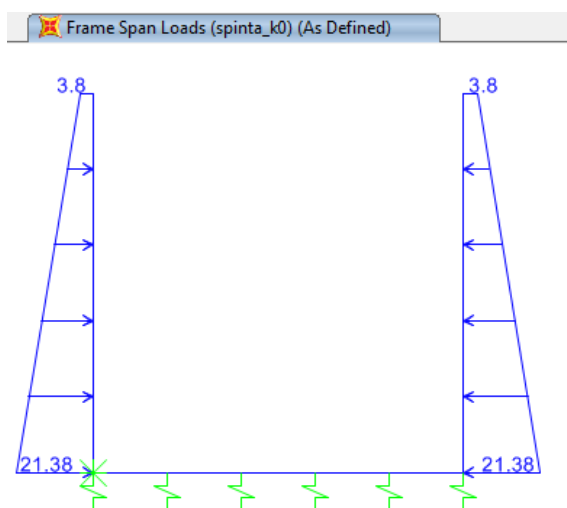



Figura 7.3: spinta del terreno.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 24 di 72</p>

### 7.2.3. Spinta sovraccarico accidentale a tergo dell'opera

Incremento spinta dovuto al sovraccarico accidentale			
$q_{1k}$	10	$\text{kN/m}^2$	carico distribuito esterno
$\Delta\sigma_h$	5	$\text{kN/m}^2$	

Frame Span Loads (spinta\_accidentale\_dx) (As Defined)

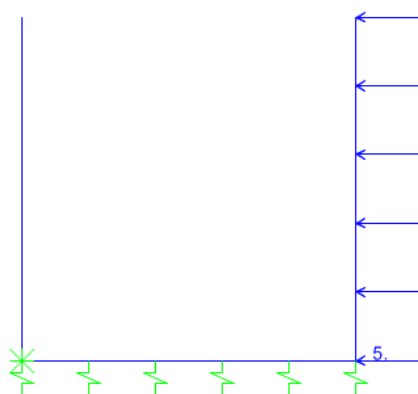


Figura 7.4: spinta sovraccarico accidentale sul piedritto destro.

### 7.2.4. Azione sismica

L'azione sismica agente sulle masse strutturali è stata considerata con un approccio di tipo pseudo-statico. Esso consente di rappresentare il sisma mediante una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$ , rispettivamente, coefficiente sismico orizzontale e verticale, pari a

$$k_h = \beta_m \cdot a_{max} / g \text{ coefficiente sismico orizzontale}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \text{ coefficiente sismico verticale}$$



**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	25 di 72

Nelle espressioni precedenti  $a_{max}$  rappresenta l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito mentre  $\beta_m$  è il coefficiente di riduzione di tale accelerazione valutato in funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti relativi rispetto al terreno. Per l'analisi della struttura in esame  $\beta_m$  è stato posto pari ad 1. L'accelerazione orizzontale massima è stata valutata con la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

in cui  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido e S un coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ).

Gli effetti dell'azione sismica sono stati valutati tenendo conto, della massa associata al peso proprio e delle masse associate al carico permanente.

Inoltre, l'incremento di spinta dovuto al sisma è stato valutato utilizzando la teoria di Wood. Secondo tale teoria la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma, su una parete di altezza  $H_s$ , viene determinato attraverso la relazione  $\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot H_{tot} \cdot H_m$  ( $H_{tot}$  = distanza p.c. – intradosso soletta inferiore;  $H_m$  = altezza muro).

$a_g$	0.056 g
$S_S$	1.5
$S_T$	1
$a_{max}$	0.084 g
$\beta_m$	1
$k_h$	0.084

INERZIA ORIZZONTALE			
Piedritti			
$k_h \cdot W_{P1}$	0.63	kN/m <sup>2</sup>	peso proprio s. 0.3m
SOVRASPINTA SISMICA (WOOD)			
$h_{tot}$	2.4	m	altezza complessiva
$\Delta p_d$	3.83	kN/m <sup>2</sup>	incremento di spinta

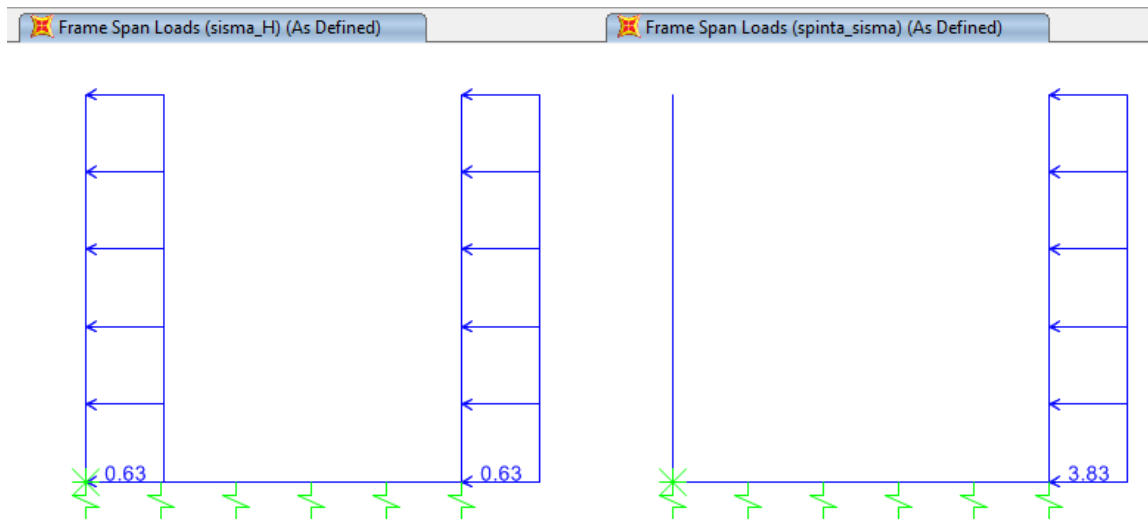


Figura 7.5: sisma orizzontale (sx) - incremento di spinta dovuto al sisma (dx).

### 7.3. COMBINAZIONI DI CALCOLO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

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

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


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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine:

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

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
	<b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b>	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO IN1100001	REV. A

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

avendo indicato con  $E_Y$  e  $E_Z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tabella 7.1.

Tabella 7.1: coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(4)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(4)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_G$ .

Le azioni impiegate nella definizione delle combinazioni di carico sono riepilogate nella Tabella 7.2.

Tabella 7.2: riepilogo carichi.

azione	Load Case Name
peso proprio	DEAD
spinta a riposo del terreno	spinta_k0
incremento di spinta dovuta al carico accidentale sul piedritto destro	spinta_acc_dx
azione sismica orizzontale dovuta al peso proprio	sisma_H
incremento di spinta sul piedritto destro dovuto al sisma	sovraspinta_sismic a

Nella tabella che segue sono elencate le combinazioni di carico impiegate nelle verifiche.


 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 28 di 72</p>

Tabella 7.3: combinazioni di carico.

	slu1	slu2	slu3	rar1	qpe 1	sis1
DEAD	1.3	1	1.3	1	1	1
spinta_k0	1	1.3	1.3	1	1	1
spinta_acc_dx	0	1.5	1.5	1	0	0
sisma_H	-	-	-	-	-	1
sovraspinta_sismica	-	-	-	-	-	1

#### 7.4. RISULTATI E VERIFICHE

Nelle immagini a seguire si riportano i digrammi di involucro delle sollecitazioni per gli stati limite ultimi statici e sismici e per gli stati limite d'esercizio.

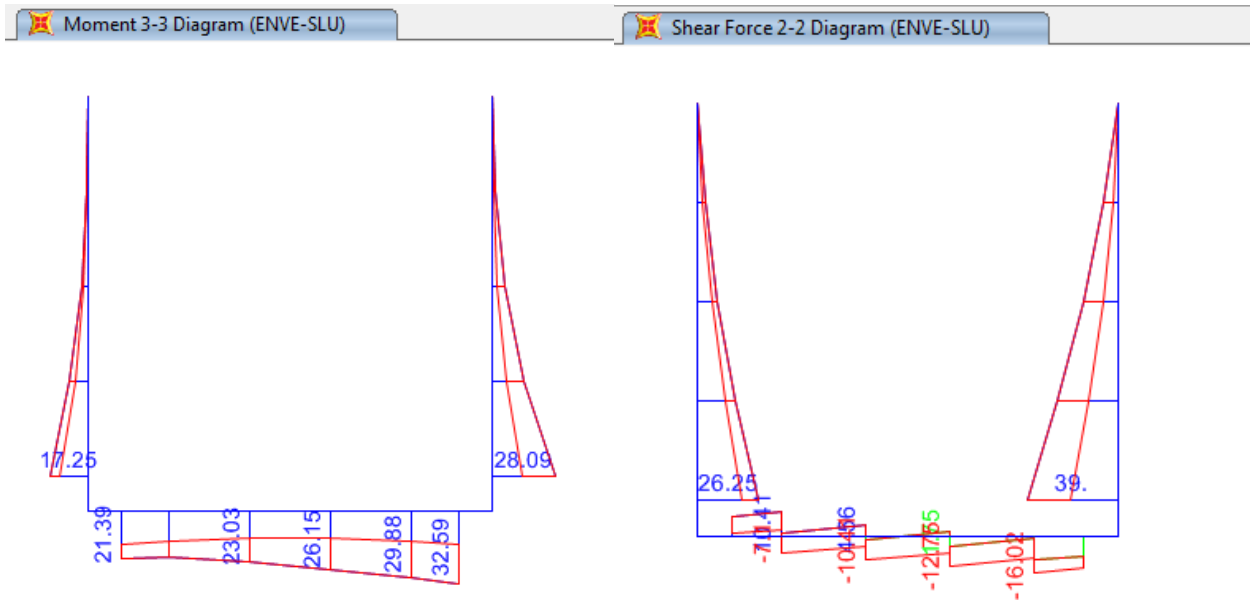


Figura 7.6: momento flettente (sx) e taglio (dx) – enve SLU.

Moment 3-3 Diagram (ENVE-SLE)

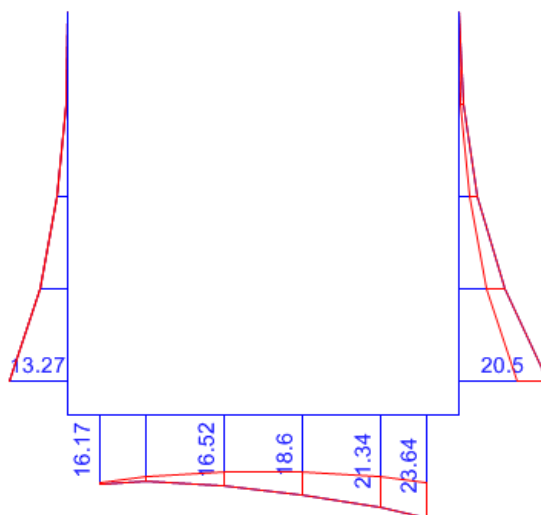


Figura 7.7: momento flettente enve SLE.

#### 7.4.1. Verifica piedritti s.0.3 m

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime derivanti dalle analisi utilizzate nelle successive verifiche.

	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
SLU	12.75	28.09	39.00
SLE	12.75	20.50	-

L'armatura tesa è superiore allo 0.2% dell'area della sezione come indicato nelle NTC18.

#### DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

##### NOME SEZIONE: U-pied

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:

Normativa di riferimento:

Tipologia sezione:

Forma della sezione:

Percorso sollecitazione:

Condizioni Ambientali:

Riferimento Sforzi assegnati:

Riferimento alla sismicità:

Stati Limite Ultimi

N.T.C.

Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe

Rettagolare

A Sforzo Norm. costante

Poco aggressive

Assi x,y principali d'inerzia

Zona non sismica

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	30 di 72

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	158.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	323080	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	27.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	154.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0	daN/cm <sup>2</sup>	

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5Ø14	(7.7 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø14	(7.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	5.9	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	5.9	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione			
MT	Momento torcente [daN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	1275	2809	3900	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	1275	2050

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	31 di 72

1 1275 2050 (4637)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	16.8	cm
Copriferro netto minimo staffe:	5.2	cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd,Mx rd) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	1275	2809	1270	7827	2.786	25.8	0.17	0.70	15.4 (3.8)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	-0.00144	24.1	-0.01668	5.9

**VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $< 0.02$ ]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm <sup>2</sup> ]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	3900	14606	24.1	100.0	0.0064	0.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\emptyset/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	32 di 72

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	28.8	30.0	0.0	23.3	-1129	24.1	7.8	778	7.7	22.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $-(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00076	0.00022	0.50	0.60	0.000339 (0.000339)	417	0.141 (0.20)	4637

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	28.8	30.0	0.0	23.3	-1129	24.1	7.8	778	7.7	22.1

**7.4.1. Verifica soletta s.0.3 m**

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime derivanti dalle analisi utilizzate nelle successive verifiche.

	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
SLU	44.15	32.59	16.02
SLE	32.54	23.64	-

L'armatura tesa è superiore allo 0.2% dell'area della sezione come indicato nelle NTC18.

**DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.**
**NOME SEZIONE: U-sol**

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe: C30/37
Resistenza compress. di progetto fcd:	158.60 daN/cm <sup>2</sup>
Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020



**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	33 di 72

Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	323080	daN/cm <sup>2</sup>
Resis. media a trazione fctm:	27.60	daN/cm <sup>2</sup>
Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	154.00	daN/cm <sup>2</sup>
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.00	daN/cm <sup>2</sup>
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50	
	Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0	daN/cm <sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5Ø14	(7.7 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø14	(7.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	5.9	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	5.9	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	4415	3259	1602	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	3254	2364

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	3254	2364 (4826)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	34 di 72

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	16.8	cm
Copriferro netto minimo staffe:	5.2	cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd,Mx rd) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	4415	3259	4431	8145	2.499	25.7	0.18	0.70	15.4 (3.8)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	-0.00132	24.1	-0.01618	5.9

**VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

VerS	= comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $< 0.02$ ]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm <sup>2</sup> ]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	1602	14985	24.1	100.0	0.0064	0.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\emptyset/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	32.9	30.0	0.0	22.9	-1181	24.1	7.6	763	7.7	22.1

**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	35 di 72

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00080	0.00025	0.50	0.60	0.000354 (0.000354)	413	0.146 (0.20)	4826

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	32.9	30.0	0.0	22.9	-1181	24.1	7.6	763	7.7	22.1

**7.4.2. Incidenza**

Nel calcolo dell'incidenza è stata considerata l'armatura principale, con cui si sono svolte le verifiche riportate ai paragrafi precedenti, e l'armatura di ripartizione costituita da  $\phi 12/20$ . Il valore così ottenuto è stato incrementato del 10-15% per tenere in conto degli elementi accessori (legature, cavallotti,...).

	I (kg/m <sup>3</sup> )
Piedritti	80
Soletta inferiore	80

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 36 di 72</p>

## 8. CANALE A U – RACCORDO SCATOLARE

### 8.1. MODELLAZIONE ADOTTATA

Lo schema statico prevede la soletta a contatto con il terreno schematizzata come una trave su molle alla Winkler, il cui valore è stato valutato nel seguito.

La costante di Winkler si calcola tramite la formula:

$$k = \frac{1}{B' \cdot E' \cdot 4 \cdot I_s \cdot I_F} \quad (\text{formulazione di Vesic, rif. "Fondazioni" – Bowles})$$

con:

$B' = B/2$  ( $B =$  larghezza della soletta di fondo)

$E$  modulo elastico del terreno

$\nu$  Coefficiente di Poisson del terreno

$$E' = \frac{1 - \nu^2}{E}$$

$$I_s = I_1 + \frac{1 - 2\nu}{1 - \nu} I_2 \quad \text{Coefficiente di Steinbrenner}$$

$I_F$  Coefficiente di forma (vedi Figura 8.1)

$$I_1 = \frac{1}{\pi} \left[ M \ln \frac{(1 + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{M^2 + N^2}}{M (1 + \sqrt{M^2 + N^2 + 1})} + \ln \frac{(M + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{1 + N^2}}{M + \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right]$$

$$I_2 = \frac{N}{2\pi} \tan^{-1} \frac{M}{N \sqrt{M^2 + N^2 + 1}}$$

Nel caso in esame si ha:

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	37 di 72

$$B = 2.1 \text{ m}$$

$$E = 9 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.3$$

$$N = H/B' = 2.0$$

$$M = L'/B' = 1.0$$

$$IF = 0.7$$

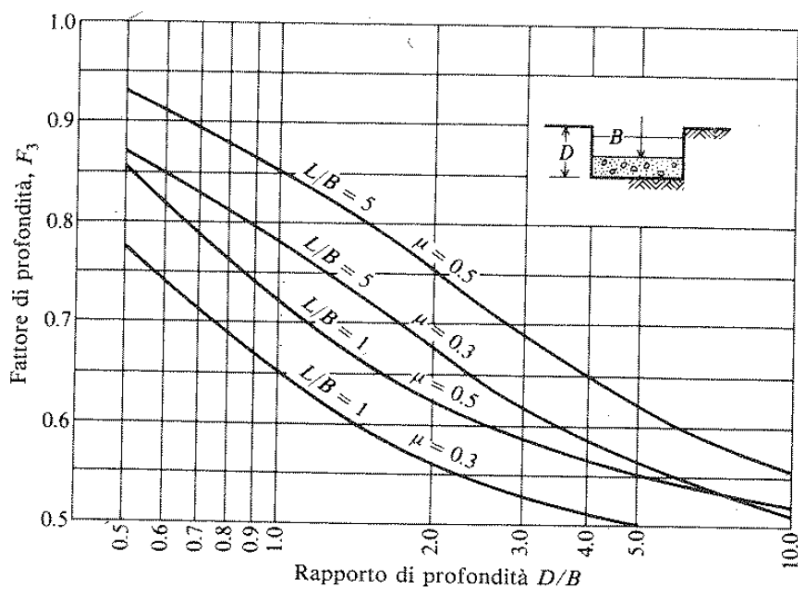


Figura 8.1: coefficiente di influenza  $IF$  per una fondazione collocata a profondità  $D$ .

E quindi  $k \approx 10000 \text{ kN/m}^3$ .

La costante elastica viene applicata ai nodi dell'elemento frame con cui viene modellata la soletta di fondo differenziando la rigidità delle molle dei nodi centrali da quelli laterali e da quelli di spigolo.

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	38 di 72

n	5	numero di elementi di divisione della soletta inf.
ks	10000 kN/m <sup>3</sup>	
Lint	1.5 m	larghezza interna dello scatolare
Sp	0.3 m	spessore dei piedritti
<b><u>RIGIDEZZA MOLLE CENTRALI</u></b>		
K <sub>centrali</sub>	3600 kN/m	
<b><u>RIGIDEZZA MOLLE DI SPIGOLO</u></b>		
K <sub>spigolo</sub>	6600 kN/m	
<b><u>RIGIDEZZA MOLLE INTERMEDIE</u></b>		
K <sub>intermedie</sub>	5400 kN/m	

L'analisi delle strutture è stata condotta mediante il programma di calcolo agli elementi finiti SAP2000, prodotto dalla Computer and Structures inc. di Berkeley, California, USA.

Lo schema statico impiegato è quello di telaio costituito da elementi frame; in corrispondenza della intersezione tra tali elementi il programma genera in automatico dei nodi per garantire la continuità strutturale. Ad ogni elemento è assegnata la corrispondente sezione rettangolare in calcestruzzo, la cui geometria è definita dallo spessore dell'elemento stesso per una larghezza unitaria, dal momento che la struttura è risolta come piana.

Per le verifiche delle sezioni si è adottato il programma RC-SEC – Autore GEOSTRU.

La dimensione interna è di 1.5 m, l'altezza interna massima è pari a 2.25 m, lo spessore della soletta e dei piedritti è pari a 0.3 m. In figura si riporta schematicamente la geometria dell'opera .

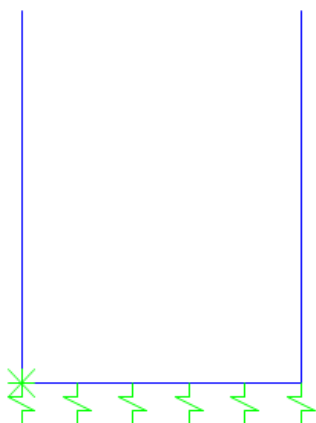


Figura 8.2: modello di calcolo.

**OPERE IDRAULICHE**

IN11 - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	39 di 72

## 8.2. ANALISI DEI CARICHI

### 8.2.1. Peso proprio della struttura

Il peso proprio della struttura è valutato automaticamente dal programma di calcolo attribuendo al c.a. un peso dell'unità di volume di  $25 \text{ kN/m}^3$ .

### 8.2.2. Spinta del terreno

Per la valutazione della spinta esercitata dal terreno quest'ultimo è stato considerato in condizioni di riposo pertanto il coefficiente di spinta è dato dalla relazione  $k_0 = 1 - \text{sen}\phi'$ .

SPINTA RIPOSO		
$\gamma_t$	19.00 $\text{kN/m}^3$	peso specifico terreno
$\phi'_k$	30 °	angolo attrito caratteristico
$\phi'_d$	30 °	angolo attrito di progetto
$k_0$	0.50 -	
$\sigma'_{h1}$ (z=0.0 m)	0.0 $\text{kN/m}^2$	tensione orizzontale quota testa piedritto
$\sigma'_{h2}$ (z=2.4 m)	22.8 $\text{kN/m}^2$	tensione orizzontale quota mezzeria soletta

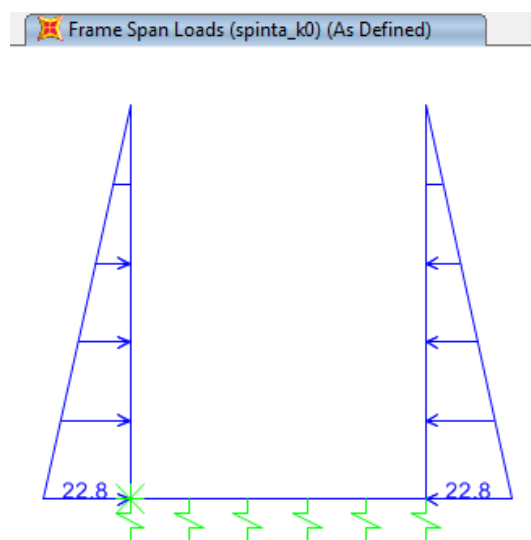



Figura 8.3: spinta del terreno.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 40 di 72</p>

### 8.2.3. Spinta sovraccarico accidentale a tergo dell'opera

Incremento spinta dovuto al sovraccarico accidentale			
$q_{1k}$	10	$\text{kN/m}^2$	carico distribuito esterno
$\Delta\sigma_h$	5	$\text{kN/m}^2$	

Frame Span Loads (spinta\_accidentale\_dx) (As Defined)

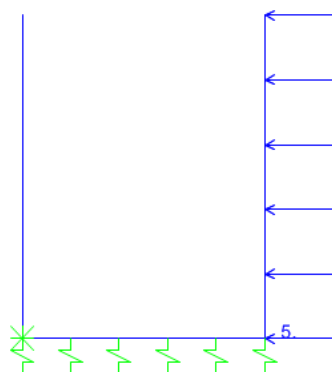


Figura 8.4: spinta sovraccarico accidentale sul piedritto destro.

### 8.2.4. Azione sismica

L'azione sismica agente sulle masse strutturali è stata considerata con un approccio di tipo pseudo-statico. Esso consente di rappresentare il sisma mediante una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$ , rispettivamente, coefficiente sismico orizzontale e verticale, pari a

$$k_h = \beta_m \cdot a_{\max} / g \text{ coefficiente sismico orizzontale}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \text{ coefficiente sismico verticale}$$



**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	41 di 72

Nelle espressioni precedenti  $a_{max}$  rappresenta l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito mentre  $\beta_m$  è il coefficiente di riduzione di tale accelerazione valutato in funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti relativi rispetto al terreno. Per l'analisi della struttura in esame  $\beta_m$  è stato posto pari ad 1. L'accelerazione orizzontale massima è stata valutata con la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

in cui  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido e S un coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ).

Gli effetti dell'azione sismica sono stati valutati tenendo conto, della massa associata al peso proprio e delle masse associate al carico permanente.

Inoltre, l'incremento di spinta dovuto al sisma è stato valutato utilizzando la teoria di Wood. Secondo tale teoria la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma, su una parete di altezza  $H_s$ , viene determinato attraverso la relazione  $\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot H_{tot} \cdot H_m$  ( $H_{tot}$  = distanza p.c. – intradosso soletta inferiore;  $H_m$  = altezza muro).

$a_g$	0.056 g
$S_S$	1.5
$S_T$	1
$a_{max}$	0.084 g
$\beta_m$	1
$k_h$	0.084

INERZIA ORIZZONTALE			
Piedritti			
$k_h \cdot W_{P1}$	0.63	kN/m <sup>2</sup>	peso proprio s. 0.3m
SOVRASPINTA SISMICA (WOOD)			
$h_{tot}$	2.55	m	altezza complessiva
$\Delta p_d$	4.07	kN/m <sup>2</sup>	incremento di spinta

Frame Span Loads (sisma\_H) (As Defined)

Frame Distributed Loads (spinta\_sisma)

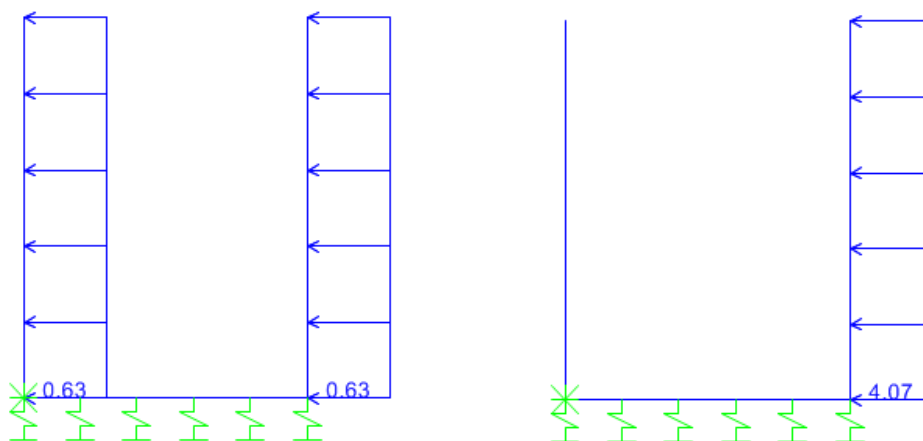


Figura 8.5: sisma orizzontale (sx) - incremento di spinta dovuto al sisma (dx).

### 8.3. COMBINAZIONI DI CALCOLO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

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

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

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine:

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

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
	<b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b>	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO IN1100001	REV. A

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

avendo indicato con  $E_Y$  e  $E_Z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tabella 8.1.

*Tabella 8.1: coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.*

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(4)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(4)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Le azioni impiegate nella definizione delle combinazioni di carico sono riepilogate nella Tabella 8.2.

*Tabella 8.2: riepilogo carichi.*

azione	Load Case Name
peso proprio	DEAD
spinta a riposo del terreno	spinta_ k0
incremento di spinta dovuta al carico accidentale sul piedritto destro	spinta_acc_dx
azione sismica orizzontale dovuta al peso proprio	sisma_H
incremento di spinta sul piedritto destro dovuto al sisma	sovraspinta_sismic a

Nella tabella che segue sono elencate le combinazioni di carico impiegate nelle verifiche.

Tabella 8.3: combinazioni di carico.

	slu1	slu2	slu3	rar1	qpe 1	sis1
DEAD	1.3	1	1.3	1	1	1
spinta_k0	1	1.3	1.3	1	1	1
spinta_acc_dx	0	1.5	1.5	1	0	0
sisma_H	-	-	-	-	-	1
sovraspinta_sismica	-	-	-	-	-	1

#### 8.4. RISULTATI E VERIFICHE

Nelle immagini a seguire si riportano i diagrammi di involucro delle sollecitazioni per gli stati limite ultimi statici e sismici e per gli stati limite d'esercizio.

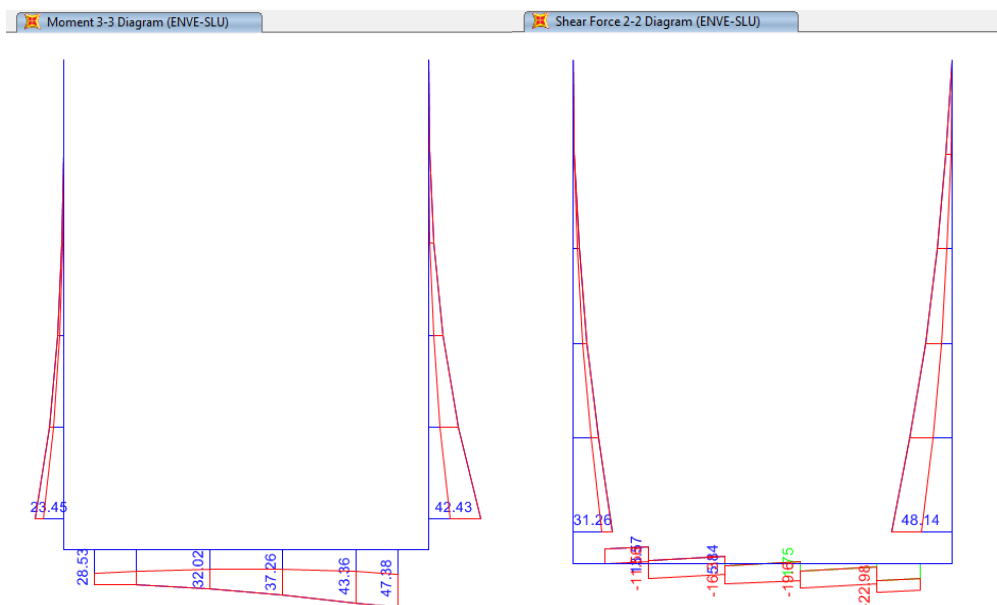


Figura 8.6: momento flettente (sx) e taglio (dx) – enve SLU.

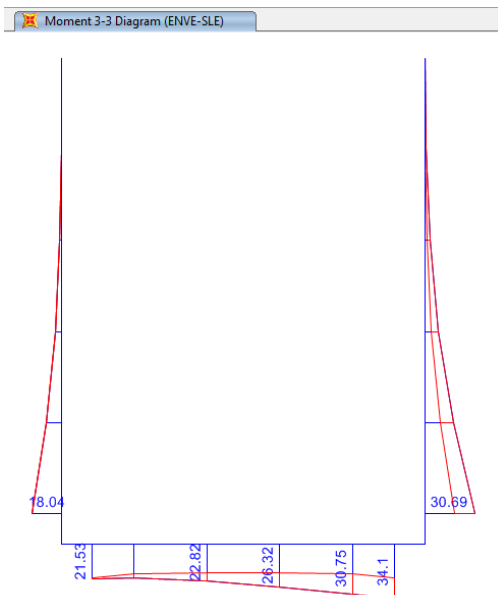


Figura 8.7: momento flettente enve SLE.

#### 8.4.1. Verifica piedritti s.0.3 m

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime derivanti dalle analisi utilizzate nelle successive verifiche.

	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
SLU	16.87	42.43	48.14
SLE	16.87	30.69	-

L'armatura tesa è superiore allo 0.2% dell'area della sezione come indicato nelle NTC18.

#### DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

NOME SEZIONE: IN11-U-pied-raccordo

Descrizione Sezione:	Stati Limite Ultimi
Metodo di calcolo resistenza:	N.T.C.
Normativa di riferimento:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Tipologia sezione:	Rettangolare
Forma della sezione:	A Sforzo Norm. costante
Percorso sollecitazione:	Poco aggressive
Condizioni Ambientali:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento Sforzi assegnati:	Zona non sismica
Riferimento alla sismicità:	

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C30/37
Resistenza compress. di progetto fcd:	158.60 daN/cm <sup>2</sup>

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	46 di 72

Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	323080	daN/cm <sup>2</sup>
Resis. media a trazione fctm:	27.60	daN/cm <sup>2</sup>
Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	154.00	daN/cm <sup>2</sup>
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.00	daN/cm <sup>2</sup>
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

<b>ACCIAIO -</b>	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura flk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50	
	Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0	daN/cm <sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	1687	4243	4814	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	1687	3069

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	1687	3069 (4720)

**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	47 di 72

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	16.4	cm
Copriferro netto minimo staffe:	5.2	cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	1687	4243	1714	9675	2.280	25.3	0.20	0.70	20.1 (3.8)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	-0.00096	24.0	-0.01434	6.0

**VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $< 0.02$ ]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm <sup>2</sup> ]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	4814	15973	24.0	100.0	0.0084	0.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress. (+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress. (+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace (verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------

**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	48 di 72

1	S	38.7	30.0	0.0	22.7	-1334	24.0	7.6	757	10.1	22.0
---	---	------	------	-----	------	-------	------	-----	-----	------	------

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compressione: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00091	0.00029	0.50	0.60	0.000400 (0.000400)	382	0.153 (0.20)	4720

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	38.7	30.0	0.0	22.7	-1334	24.0	7.6	757	10.1	22.0

**8.4.2. Verifica soletta s.0.3 m**

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime derivanti dalle analisi utilizzate nelle successive verifiche.

	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
SLU	53.57	47.38	22.98
SLE	39.36	34.10	-

L'armatura tesa è superiore allo 0.2% dell'area della sezione come indicato nelle NTC18.

**DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.**
**NOME SEZIONE: IN11-U-sol-raccordo**

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resistenza compress. di progetto fcd:	158.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo



**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	49 di 72

Modulo Elastico Normale Ec:	323080	daN/cm <sup>2</sup>
Resis. media a trazione fctm:	27.60	daN/cm <sup>2</sup>
Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	154.00	daN/cm <sup>2</sup>
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.00	daN/cm <sup>2</sup>
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
	Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0	daN/cm <sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	6.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	5357	4738	2298	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	3936	3410

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	3936	3410 (4873)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	16.4	cm
Copriferro netto minimo staffe:	5.2	cm

**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	50 di 72

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	5357	4738	5335	10031	2.117	25.2	0.20	0.70	20.1 (3.8)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	-0.00085	24.0	-0.01392	6.0

**VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23) NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $< 0.02$ ]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm <sup>2</sup> ]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	2298	16413	24.0	100.0	0.0084	0.2

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace (verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\emptyset/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11) NTC/(7.14) EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	42.9	30.0	0.0	22.4	-1376	24.0	7.5	745	10.1	22.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata

**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	51 di 72

e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00094	0.00032	0.50	0.60	0.000413 (0.000413)	378	0.156 (0.20)	4873


**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	42.9	30.0	0.0	22.4	-1376	24.0	7.5	745	10.1	22.0

**8.4.3. Incidenza**

Nel calcolo dell'incidenza è stata considerata l'armatura principale, con cui si sono svolte le verifiche riportate ai paragrafi precedenti, e l'armatura di ripartizione costituita da  $\phi 12/20$ . Il valore così ottenuto è stato incrementato del 10-15% per tenere in conto degli elementi accessori (legature, cavallotti,...).

	I (kg/m <sup>3</sup> )
Piedritti	90
Soletta inferiore	90

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 52 di 72</p>

## 9. SCATOLARE

### 9.1. MODELLAZIONE ADOTTATA

Lo schema statico prevede la soletta a contatto con il terreno schematizzata come una trave su molle alla Winkler, il cui valore è stato valutato nel seguito.

La costante di Winkler si calcola tramite la formula:

$$k = \frac{1}{B' \cdot E' \cdot 4 \cdot I_s \cdot I_F} \quad (\text{formulazione di Vesic, rif. "Fondazioni" - Bowles})$$

con:

$B' = B/2$  ( $B =$  larghezza della soletta di fondo)

$E$  modulo elastico del terreno

$\nu$  Coefficiente di Poisson del terreno

$$E' = \frac{1 - \nu^2}{E}$$

$$I_s = I_1 + \frac{1 - 2\nu}{1 - \nu} I_2 \quad \text{Coefficiente di Steinbrenner}$$

$I_F$  Coefficiente di forma (vedi Figura 9.1)

$$I_1 = \frac{1}{\pi} \left[ M \ln \frac{(1 + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{M^2 + N^2}}{M (1 + \sqrt{M^2 + N^2 + 1})} + \ln \frac{(M + \sqrt{M^2 + 1}) \sqrt{1 + N^2}}{M + \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right]$$

$$I_2 = \frac{N}{2\pi} \tan^{-1} \frac{M}{N \sqrt{M^2 + N^2 + 1}}$$

Nel caso in esame si ha:

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	53 di 72

$$B = 2.1 \text{ m}$$

$$E = 9 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.3$$

$$N = H/B' = 2.0$$

$$M = L'/B' = 3.0$$

$$IF = 0.7$$

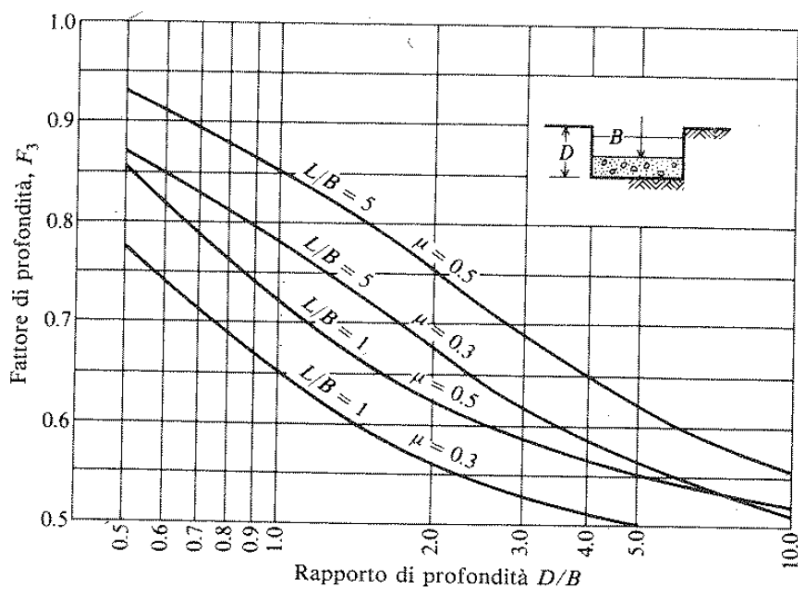


Figura 9.1: coefficiente di influenza  $IF$  per una fondazione collocata a profondità  $D$ .

E quindi  $k \approx 10000 \text{ kN/m}^3$ .

La costante elastica viene applicata ai nodi dell'elemento frame con cui viene modellata la soletta di fondo differenziando la rigidezza delle molle dei nodi centrali da quelli laterali e da quelli di spigolo.

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	54 di 72

n	5	numero di elementi di divisione della soletta inf.
ks	10000 kN/m <sup>3</sup>	
Lint	1.5 m	larghezza interna dello scatolare
Sp	0.3 m	spessore dei piedritti
<b><u>RIGIDEZZA MOLLE CENTRALI</u></b>		
K <sub>centrali</sub>	3600 kN/m	
<b><u>RIGIDEZZA MOLLE DI SPIGOLO</u></b>		
K <sub>spigolo</sub>	6600 kN/m	
<b><u>RIGIDEZZA MOLLE INTERMEDIE</u></b>		
K <sub>intermedie</sub>	5400 kN/m	

L'analisi delle strutture è stata condotta mediante il programma di calcolo agli elementi finiti SAP2000, prodotto dalla Computer and Structures inc. di Berkeley, California, USA.

Lo schema statico impiegato è quello di telaio costituito da elementi frame; in corrispondenza della intersezione tra tali elementi il programma genera in automatico dei nodi per garantire la continuità strutturale. Ad ogni elemento è assegnata la corrispondente sezione rettangolare in calcestruzzo, la cui geometria è definita dallo spessore dell'elemento stesso per una larghezza unitaria, dal momento che la struttura è risolta come piana.

Per le verifiche delle sezioni si è adottato il programma RC-SEC – Autore GEOSTRU.

Il tombino ha dimensioni interne 1.5 m\*1.5 m, lo spessore dei elementi strutturali, solette e piedritti, è pari a 0.3 m. In figura si riporta schematicamente la geometria dell'opera .

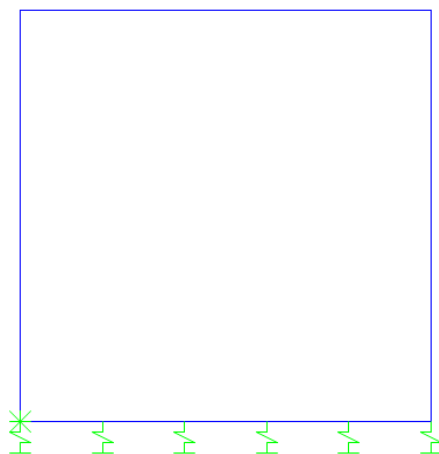



Figura 9.2: modello di calcolo.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 55 di 72</p>

## 9.2. ANALISI DEI CARICHI

### 9.2.1. Peso proprio della struttura

Il peso proprio della struttura è valutato automaticamente dal programma di calcolo attribuendo al c.a. un peso dell'unità di volume di 25 kN/m<sup>3</sup>.

### 9.2.1. Carichi permanenti e accidentali

Nella Tabella sottostante si riportano i carichi permanenti considerati nel modello di calcolo.

SOLETTA SUPERIORE			
permanentemente portati			
$Y_{g2}$	20.00	kN/m <sup>3</sup>	
$S_{g2}$	0.5	m	pacchetto stradale
$W_{g2}$	10.0	kN/m <sup>2</sup>	
accidentali			
$Q_{1k}$	20.0	kN/m <sup>2</sup>	sovraccarico stradale

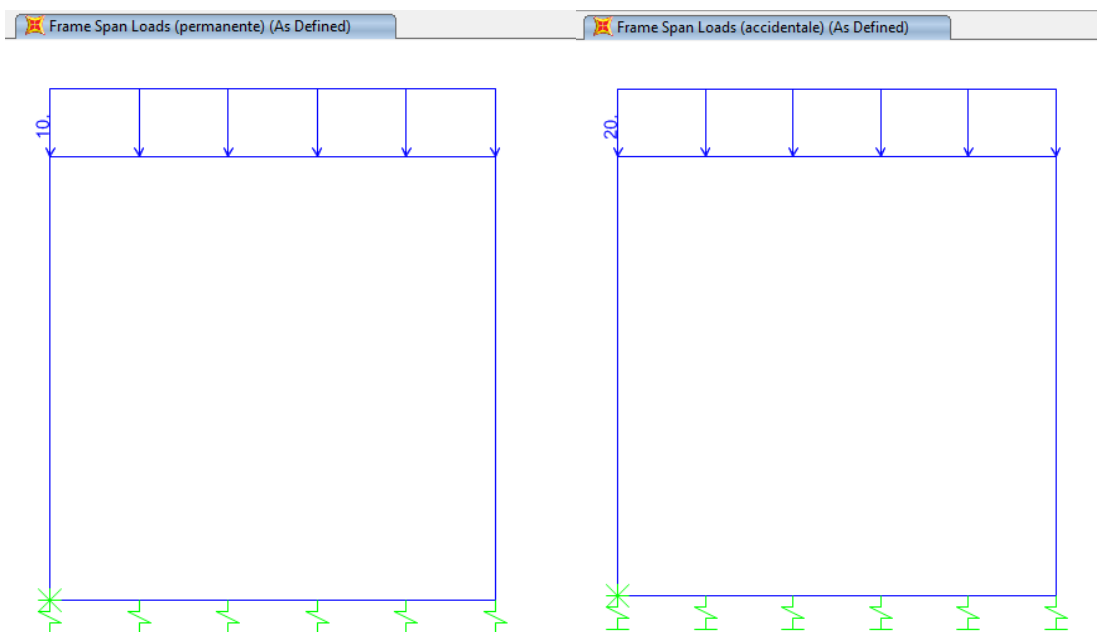


Figura 9.3 :carico permanente portato (sx), accidentale (dx).

**OPERE IDRAULICHE**

IN11 - Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	56 di 72

**9.2.1. Spinta del terreno**

Per la valutazione della spinta esercitata dal terreno quest'ultimo è stato considerato in condizioni di riposo pertanto il coefficiente di spinta è dato dalla relazione  $k_0 = 1 - \text{sen}\phi'$ .

**SPINTA RIPOSO**

$\gamma_t$	19.00 kN/m <sup>3</sup>	peso specifico terreno
$\Phi'_k$	30 °	angolo attrito caratteristico
$\Phi'_d$	30 °	angolo attrito di progetto
$k_0$	0.50 -	
$\sigma'_{h1}$ (z=0.15 m)	1.43 kN/m <sup>2</sup>	tensione orizzontale quota mezzeria soletta superiore
$\sigma'_{h2}$ (z=1.95 m)	18.53 kN/m <sup>2</sup>	tensione orizzontale quota mezzeria soletta inferiore

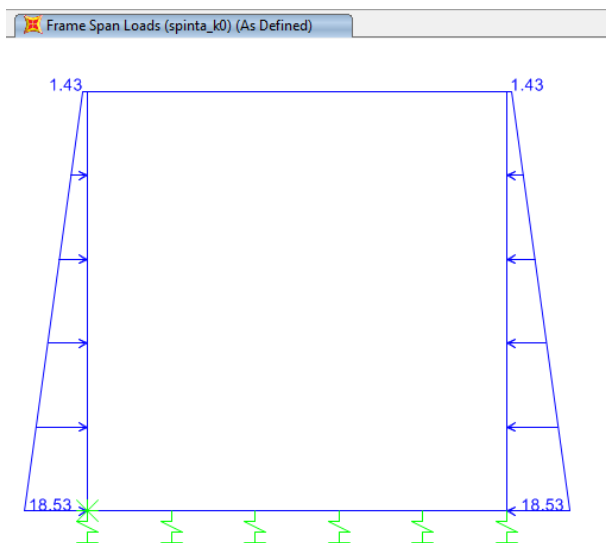



Figura 9.4: spinta del terreno.



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 57 di 72</p>

**9.2.2. Spinta sovraccarico permanente e accidentale**

Incremento di spinta dovuto al sovraccarico permanente		
$w_{g2}$	10 kN/m <sup>2</sup>	carico distribuito esterno
$\Delta\sigma_h$	5 kN/m <sup>2</sup>	
Incremento di spinta dovuto al sovraccarico accidentale		
$q_{1k}$	20 kN/m <sup>2</sup>	carico distribuito esterno
$\Delta\sigma_h$	10 kN/m <sup>2</sup>	

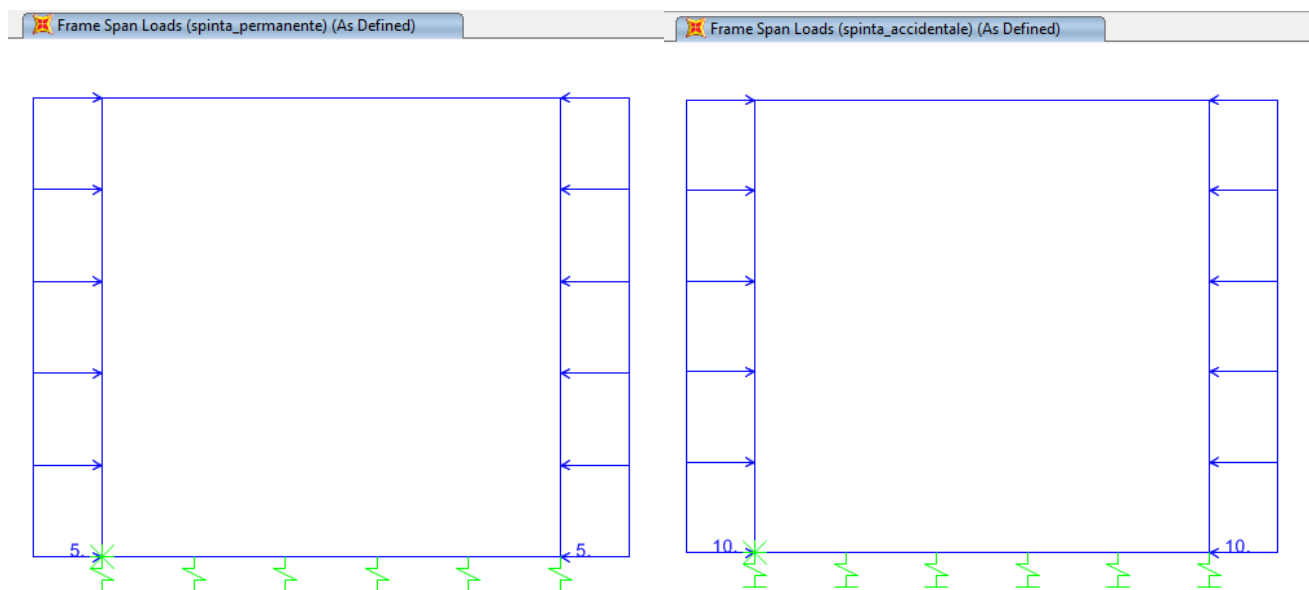


Figura 9.5: spinta sovraccarico permanente (sx), spinta accidentale (dx).

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
<b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>IN11 - Relazione di calcolo</b>	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO IN1100001	REV. A	FOGLIO 58 di 72

### 9.2.3. Azione sismica

L'azione sismica agente sulle masse strutturali è stata considerata con un approccio di tipo pseudo-statico. Esso consente di rappresentare il sisma mediante una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$ , rispettivamente, coefficiente sismico orizzontale e verticale, pari a

$$k_h = \beta_m \cdot a_{max}/g \text{ coefficiente sismico orizzontale}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \text{ coefficiente sismico verticale}$$

Nelle espressioni precedenti  $a_{max}$  rappresenta l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito mentre  $\beta_m$  è il coefficiente di riduzione di tale accelerazione valutato in funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti relativi rispetto al terreno. Per l'analisi della struttura in esame  $\beta_m$  è stato posto pari ad 1. L'accelerazione orizzontale massima è stata valutata con la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

in cui  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido e  $S$  un coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ).

Gli effetti dell'azione sismica sono stati valutati tenendo conto, della massa associata al peso proprio e delle masse associate al carico permanente.

Inoltre, l'incremento di spinta dovuto al sisma è stato valutato utilizzando la teoria di Wood. Secondo tale teoria la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma, su una parete di altezza  $H_s$ , viene determinato attraverso la relazione  $\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot H_{tot} \cdot H_m$  ( $H_{tot}$  = distanza p.c. – intradosso soletta inferiore;  $H_m$  = altezza muro).

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	59 di 72

$a_g$	0.056 g
$S_S$	1.5
$S_T$	1
$a_{max}$	0.084 g
$\beta_m$	1
$k_h$	0.084

INERZIA VERTICALE			
Soletta superiore			
$k_V \cdot W_{PP}$	0.74	$kN/m^2$	peso proprio s. 0.3m+ permanenti portati
INERZIA ORIZZONTALE			
Piedritti			
$k_h \cdot W_{P1}$	0.63	$kN/m^2$	peso proprio s. 0.3m
SOVRASPINTA SISMICA (WOOD)			
$h_{tot}$	2.60	m	altezza complessiva
$\Delta p_d$	4.15	$kN/m^2$	incremento di spinta

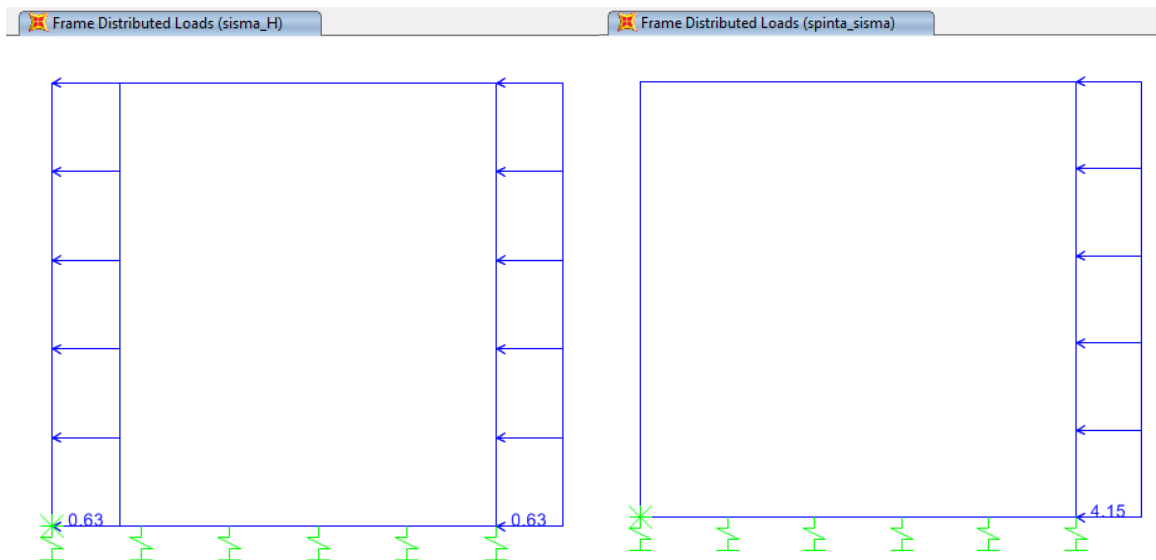


Figura 9.6: sisma orizzontale (sx), incremento spinta dovuto al sisma (dx).

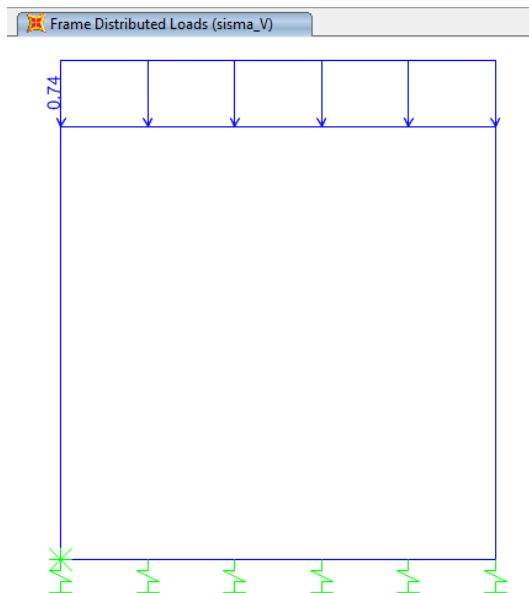


Figura 9.7: sisma verticale.

### 9.3. COMBINAZIONI DI CALCOLO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

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


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

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) a lungo termine:

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
	<b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b>	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO IN1100001	REV. A

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

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

avendo indicato con  $E_Y$  e  $E_Z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tabella 9.1.

*Tabella 9.1: coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.*

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(4)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(4)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G2}$

Le azioni impiegate nella definizione delle combinazioni di carico sono riepilogate nella Tabella 9.2.

*Tabella 9.2: riepilogo carichi.*

azione	Load Case Name
peso proprio	DEAD
spinta a riposo del terreno	spinta_k0
carico permanente sulla soletta superiore	perm
incremento di spinta dovuta al carico accidentale	spinta_perm
carico accidentale sulla soletta superiore	acc
incremento di spinta dovuta al carico accidentale	spinta_acc
azione sismica verticale dovuta al peso proprio e ai carichi permanenti	sisma_V
azione sismica orizzontale dovuta al peso proprio	sisma_H
incremento di spinta sul piedritto sinistro dovuto al sisma	sovraspinta_sismica

 <p><b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> <b>IN11 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO IN1100001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 62 di 72</p>

Nella tabella che segue sono elencate le combinazioni di carico impiegate nelle verifiche.

Tabella 9.3: combinazioni di carico.

	slu1	slu2	slu3	rar1	qpe 1	sis1	sis2
DEAD	1.3	1	1.3	1	1	1	1
spinta_k0	1	1.3	1.3	1	1	1	1
perm	1.3	1	1.3	1	1	1	1
spinta_perm	1	1.5	1.3	1	1	1	1
acc	1.5	0	1.5	1	0	0	0
spinta_acc	0	1.5	1.5	1	0	0	0
sisma_V	-	-	-	-	-	0.3	1
sisma_H	-	-	-	-	-	1	0.3
sovraspinta_sismic a	-	-	-	-	-	1	0.3

#### 9.4. RISULTATI E VERIFICHE

Nelle immagini a seguire si riportano i digrammi di involucro delle sollecitazioni per gli stati limite ultimi statici e sismici e per gli stati limite d'esercizio.

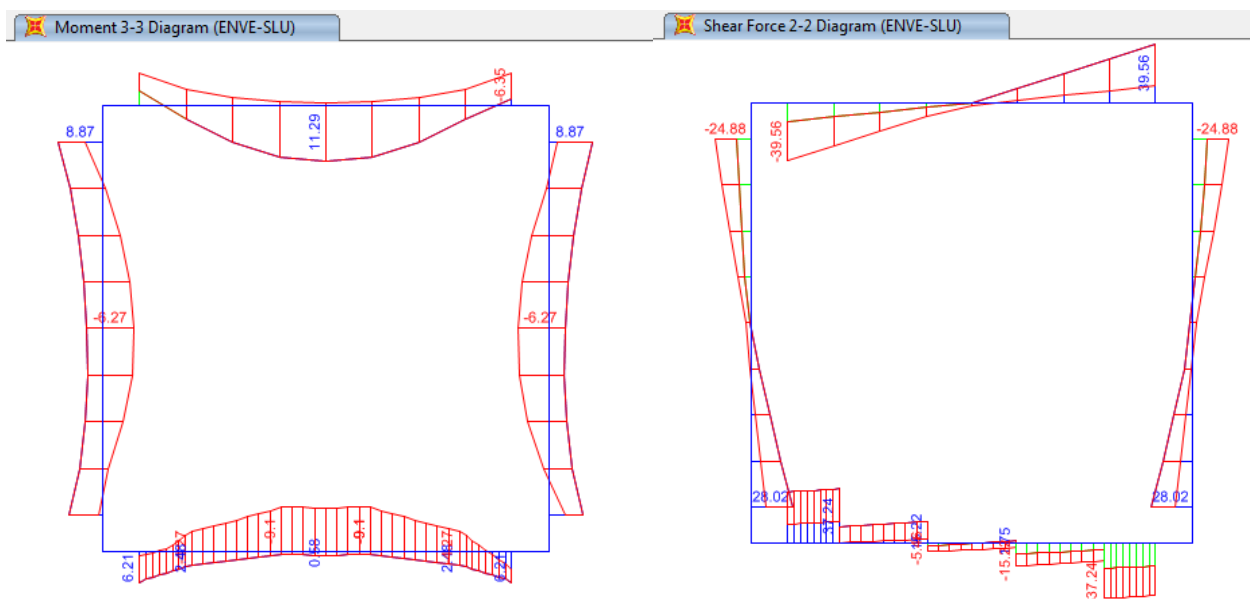


Figura 9.8: momento flettente (sx), taglio (dx) – enve SLU.

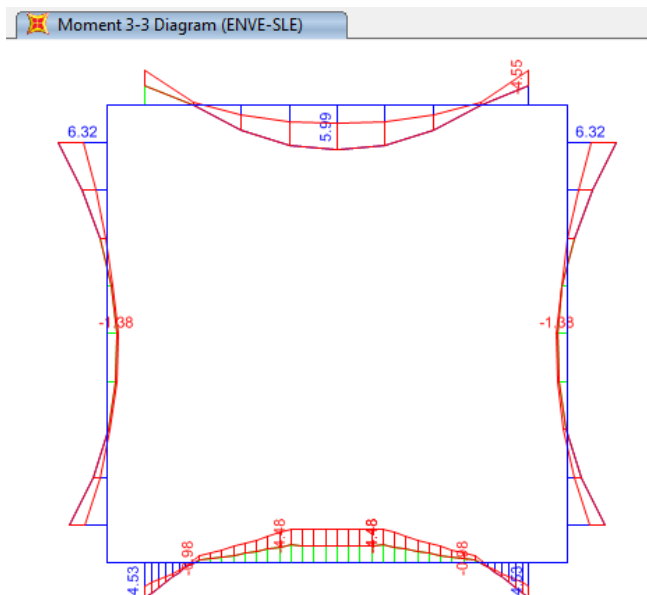


Figura 9.9: momento flettente enve SLE.

#### 9.4.1. Verifica piedritti s.0.3 m

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime derivanti dalle analisi utilizzate nelle successive verifiche.

	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
SLU	48.93	8.87	28.02
SLE	34.87	6.32	-

L'armatura tesa è superiore allo 0.2% dell'area della sezione come indicato nelle NTC18.

#### DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

NOME SEZIONE: IN11-scatolare-pied

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:

Normativa di riferimento:

Tipologia sezione:

Stati Limite Ultimi

N.T.C.

Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe

**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	64 di 72

Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resistenza compress. di progetto fcd:	158.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	323080 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	27.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	154.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00
	Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0 daN/cm <sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5Ø14	(7.7 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø14	(7.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf. (dal baric. barre):	5.9	cm
Coprif.Sup. (dal baric. barre):	5.9	cm
Coprif.Lat. (dal baric. barre):	10.0	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione			
MT	Momento torcente [daN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	4893	887	2802	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	3487	632



**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	65 di 72

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	3487	632 (6221)

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	16.8	cm
Copriferro netto minimo staffe:	5.2	cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	4893	887	4909	8194	9.238	25.7	0.18	0.70	15.4 (3.8)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	-0.00130	24.1	-0.01612	5.9

**VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $< 0.02$ ]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm <sup>2</sup> ]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	2802	15042	24.1	100.0	0.0064	0.2

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	66 di 72

Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci.
	(D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	8.0	30.0	0.0	19.4	-153	24.1	6.5	646	7.7	22.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compressione: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $-(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00011	0.00006	0.50	0.60	0.000046 (0.000046)	377	0.017 (0.20)	6221

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	8.0	30.0	0.0	19.4	-153	24.1	6.5	646	7.7	22.1

**9.4.2. Verifica soletta inferiore s.0.3 m**

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime derivanti dalle analisi utilizzate nelle successive verifiche.

	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
SLU	15.17	9.10	37.24
SLE	24.53	4.48	-

L'armatura tesa è superiore allo 0.2% dell'area della sezione come indicato nelle NTC18.

**DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.**

NOME SEZIONE: IN11-scatolare-sol\_inf

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	67 di 72

Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia  
Riferimento alla sismicità: Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	158.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	323080	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	27.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	154.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.00	daN/cm <sup>2</sup>
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm	

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0	daN/cm <sup>2</sup>	

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5Ø14	(7.7 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø14	(7.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	5.9	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	5.9	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	1517	910	3724	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	2453	448

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)

**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	68 di 72

con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	2453	448 (6203)

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	16.8	cm
Copriferro netto minimo staffe:	5.2	cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata	
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)	
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico	
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)	
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico	
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$	
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.	
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.1.1 NTC]: deve essere $< 0.45$	
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]	
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)	

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	1517	910	1517	7852	8.628	25.8	0.17	0.70	15.4 (3.8)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	-0.00143	24.1	-0.01664	5.9

**VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata	
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)	
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]	
d	Altezza utile sezione [cm]	
bw	Larghezza minima sezione [cm]	
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $< 0.02$ ]	
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm <sup>2</sup> ]	

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	3724	14635	24.1	100.0	0.0064	0.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata	
Sc max	Massima tensione di compress. (+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]	
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)	
Sc min	Minima tensione di compress. (+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]	
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)	
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]	
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)	

**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	69 di 72

Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a  $5(c+\emptyset/2)$  e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.7	30.0	0.0	19.4	-109	24.1	6.5	648	7.7	22.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver Esito verifica  
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 K2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$  in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
 srm Distanza massima in mm tra le fessure  
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess. Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00008	0.00004	0.50	0.60	0.000033 (0.000033)	377	0.012 (0.20)	6203

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	5.7	30.0	0.0	19.4	-109	24.1	6.5	648	7.7	22.1

**9.4.1. Verifica soletta superiore s.0.3 m**

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime derivanti dalle analisi utilizzate nelle successive verifiche.

	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
SLU	11.79	11.29	39.56
SLE	20.43	5.99	-

L'armatura tesa è superiore allo 0.2% dell'area della sezione come indicato nelle NTC18.

**DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.**
**NOME SEZIONE: IN11-scatolare-sol\_sup**

Descrizione Sezione:  
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Tipologia sezione: Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe  
 Forma della sezione: Rettangolare  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia  
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -

Classe:

C30/37

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	70 di 72

Resistenza compress. di progetto fcd:	158.60	daN/cm <sup>2</sup>
Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	323080	daN/cm <sup>2</sup>
Resis. media a trazione fctm:	27.60	daN/cm <sup>2</sup>
Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	154.00	daN/cm <sup>2</sup>
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.00	daN/cm <sup>2</sup>
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

**ACCIAIO -**

Tipo:	B450C	
Resist. caratt. a snervamento fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
Resist. caratt. a rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
Resist. a snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensioni-deformaz.:	Billineare finito	
Coeff. Aderenza istant. β1*β2:	1.00	
Coeff. Aderenza differito β1*β2:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	3375.0	daN/cm <sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5Ø14	(7.7 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø14	(7.7 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	5.9	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	5.9	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy	Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione
MT	Momento torcente [daN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	1179	1129	3956	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	2043	599

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [daNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	2043	599 (5424)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**OPERE IDRAULICHE**
**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	71 di 72

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	16.8	cm
Copriferro netto minimo staffe:	5.2	cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale [daN] applicato nel Baricentro (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale ultimo [daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) § 4.1.1.1 NTC: deve essere $< 0.45$
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]
As Tesa	Area armature long. trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	1179	1129	1171	7817	6.924	25.8	0.17	0.70	15.4 (3.8)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	-0.00145	24.1	-0.01670	5.9

**VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $< 0.02$ ]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm <sup>2</sup> ]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	3956	14595	24.1	100.0	0.0064	0.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress. (+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress. (+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm <sup>2</sup> )]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] ricadente nell'area efficace (verifica fess.)
D barre	Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	8.1	30.0	0.0	21.4	-220	24.1	7.1	715	7.7	22.1

**OPERE IDRAULICHE**

**IN11 - Relazione di calcolo**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN1100001	A	72 di 72

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compressione: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [daNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00015	0.00006	0.50	0.60	0.000066 (0.000066)	398	0.026 (0.20)	5424

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	8.1	30.0	0.0	21.4	-220	24.1	7.1	715	7.7	22.1

**9.4.2. Incidenza**

Nel calcolo dell'incidenza è stata considerata l'armatura principale, con cui si sono svolte le verifiche riportate ai paragrafi precedenti, e l'armatura di ripartizione costituita da  $\phi 12/20$ . Il valore così ottenuto è stato incrementato del 10-15% per tenere in conto degli elementi accessori (legature, cavallotti,...).

	I (kg/m <sup>3</sup> )
Piedritti	80
Soletta inferiore	80
Soletta superiore	80