

Committente:



# AUTOCAMIONALE DELLA CISA S.P.A.

Via Camboara 26/A - Frazione Ponte Taro - 43015 NOCETO (PR)

Impresa Esecutrice:



**AUTOSTRADA DELLA CISA A15  
RACCORDO AUTOSTRADALE A15/A22  
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENO-BRENNERO  
RACCORDO AUTOSTRADALE FRA L' AUTOSTRADA DELLA CISA-FONTEVIVO (PR)  
E L' AUTOSTRADA DEL BRENNERO-NOGAROLE ROCCA (VR). I LOTTO.**

C.U.P. G61B04000060008

C.I.G. 307068161E

## PROGETTO ESECUTIVO

AUTOCAMIONALE DELLA CISA S.p.A.

Il Direttore TIBRE:

Il Responsabile del Procedimento:

Il Presidente:

IMPRESA PIZZAROTTI & C. S.p.A.

Il Direttore Tecnico:

**IMPRESA PIZZAROTTI & C. S.p.A.**  
*Il Responsabile di Progetto*  
*Dott. Ing. Luca Bondanelli*

Il Geologo:

N/A

PROGETTAZIONE DI:



Il Progettista:

Ing. Fabio Nigrelli  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo n.3581

A.T.I.:



Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione:

Ing. Giovanni Maria Cepparotti  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Viterbo n. 392

Consulenza specialistica a cura di:

N/A

Progettista Responsabile Integrazione Prestazioni Specialistiche  
**IMPRESA PIZZAROTTI & C. S.p.A.**  
Ing. Pietro Mazzoli  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Parma n.821

Titolo Elaborato:

**Viabilità ordinaria e di adduzione all'Autostazione Trecasali - Terre Verdiane  
Tombini Scatolari  
Tombino Scatolare PV-13-300x200 cm- S.P. 10 Viarolo – R3 progr. 0+624.79  
Relazione tecnica e di calcolo**

Data Emissione Progetto:

18/03/2014

Scala:

Identif. Elaborato:

N.RO IDENTIFICATIVO	CODICE COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	AMBITO	CAT OPERA	N OPERA	PARTE OP	TIPO DOC	N PROGR. DOC.	REV.
	RAAA	1	E	I	VO	TS	28	G	RE	001	B
B	30/01/2015	ISTRUTTORIA A15 NOVEMBRE 2014 ("I" indica le parti modificate con l'ultima revisione)				FRANCHINI	NIGRELLI	MAZZOLI			
A	06/06/2014	RIEMISSIONE PROGETTO ESECUTIVO				SILVESTRI	NIGRELLI	MAZZOLI			
Rev.	Data	DESCRIZIONE REVISIONE				Redatto	Controllato	Approvato			

## SOMMARIO

1	PREMESSA .....	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	7
3.1	Conglomerato cementizio per sottofondazioni .....	7
3.2	Conglomerato cementizio per fondazioni ed elevazioni .....	7
3.3	Conglomerato cementizio per cordoli .....	7
3.4	Acciaio per cemento armato .....	8
3.5	Copriferro minimo e copriferro nominale .....	8
4	PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DELLE STRUTTURE .....	9
5	CRITERI DI CALCOLO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....	10
5.1	Azioni sismiche .....	10
5.2	Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno.....	10
5.3	Combinazione dell'Azione sismica .....	10
6	PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI .....	11
6.1	Pro_sap.....	11
7	ANALISI DELLO SCATOLARE .....	12
7.1	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA.....	12
7.2	MODELLAZIONE ADOTTATA .....	13
7.3	ANALISI DEI CARICHI .....	15
7.3.1	Peso proprio e carichi permanenti portati .....	15
7.3.2	Spinta del terreno.....	16
7.3.3	Spinta falda interna allo scatolare .....	17
7.3.4	Carichi mobili verticali sulla soletta superiore.....	17
7.3.5	Frenatura .....	19
7.3.6	Spinta del sovraccarico sul rilevato .....	19
7.3.7	Azioni termiche.....	21
7.3.8	Ritiro .....	22
7.3.9	Azione sismica.....	23
8	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.....	25
8.1	Condizioni e combinazioni di carico.....	25
8.2	Schemi di carico.....	29
9	VERIFICHE DI RESISTENZA ED A FESSURAZIONE SCATOLARE.....	43
9.1	Soletta superiore.....	45
9.1.1	Attacco piedritto (asta 9).....	45
9.1.2	Mezzeria (asta 12).....	51
9.2	Soletta di fondazione .....	59
9.2.1	Attacco piedritto (asta 11).....	59

9.2.2	Mezzeria (asta 15).....	66
9.3	Piedritti .....	72
9.3.1	Attacco soletta superiore (asta 6).....	72
9.3.2	Attacco soletta inferiore (asta 2) .....	79
10	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI .....	86
11	VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE.....	87
11.1	Sezione scatolare .....	87
11.1.1	verifica in condizioni non drenate.....	89
11.1.2	verifica in condizioni drenate .....	90

## 1 PREMESSA

La presente relazione riguarda il dimensionamento dello scatolare idraulico dell'opera denominata "**PV-13-300x200 cm- S.P. 10 Viarolo – R3 progr. 0+624.79**", prevista nell'ambito dei lavori per il Progetto Esecutivo del "Raccordo autostradale A15/A22 Corridoio Plurimodale Tirreno-Brennero Raccordo autostradale tra l'Autostrada della Cisa – Fontevivo (PR) e l'Autostrada del Brennero – Nogarole Rocca (VR) – I Lotto".

L'opera è costituita da un tombino idraulico di dimensioni nette interne 3.00x2.00.

Le azioni considerate nel calcolo sono quelle tipiche di una struttura interrata con le aggiunte delle azioni di tipo stradale, con applicazione del D. M. del 9 Gennaio 1996 sulle opere in cemento armato e del D.M. 4 Maggio 1990 sui ponti stradali.

L'opera ricade in zona sismica, pertanto, saranno applicate le azioni di rito previste dalla O.P.C.M. 3274 del 20 Marzo 2003 e successive integrazioni e modifiche, così come riportato nei capitoli successivi.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Le Normative di riferimento sono:

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 – “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- D.M. LL. PP. 16 gennaio 1996 – Norme tecniche relative ai “Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”.
- Circolare 4 luglio 1996, n. 156AA.GG./STC – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi” di cui al D.M. 16 gennaio 1996.
- D.M. 09.01.96 – “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- D.M. 04.05.90 – “Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali” ed annesse “Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali”, di cui alla circolare ministero LL.PP. n. 34233 del 25.02.91
- CNR 10011/97 – Costruzioni in acciaio – Istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la manutenzione.
- CNR 10016/2000 – Strutture composte di acciaio e calcestruzzo – Istruzioni per l’impiego nelle costruzioni.
- O.P.C.M. 3274 20.03.2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- D.M. 03 dicembre 1987 – Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate.
- Circ. Min. LL.PP. 16 marzo 1989 n°31104 – Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate.
- D.M. LL. PP. 11 marzo 1988 – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Norma Italiana UNI EN 1794-1 “Dispositivi per la riduzione del rumore del traffico stradale – Prestazioni non acustiche”.
- Eurocodice 2 / UNI ENV 1992-1-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: regole generali e regole per gli edifici” come previsto dal D.A.N. (Documento di Applicazione Nazionale) RIPORTATO NEL d.m. 09.01.96.
- Eurocodice 3 / UNI ENV 1993-1-1 “Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: regole generali e regole per gli edifici” come previsto dal D.A.N. (Documento di Applicazione Nazionale) riportato nel D.M. 09.01.96
- UNI EN 206-1:2001 “Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- Istruzioni FF.SS. 2 giugno 1995 (testo aggiornato al 1997) – Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari. Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo.

- Istruzioni FF.SS.44/b (testo aggiornato) – Istruzioni tecniche per manufatti sotto binario da costruire in zona sismica.
- Eurocodice 2 EN 1992-i – Progettazione delle strutture di calcestruzzo e relativi DAN.
- Eurocodice 3 EN 1193-i – Progettazione delle strutture di acciaio e relativi DAN.
- Eurocodice 7 EN 1997-i – Progettazione geotecnica e successivi e relativi DAN.
- Eurocodice 8 EN 1998-i – Progetto delle strutture resistenti al sisma e relativi DAN.

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione dell'opera è previsto l'impiego dei sottoelencati materiali.

#### 3.1 CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER SOTTOFONDAZIONI

Classe	C12/15
Contenuto minimo di cemento	150 kg/mc

#### 3.2 CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER FONDAZIONI ED ELEVAZIONI

Classe	C28/35
Resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} = 35 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = f_{ck}/1,5 = 18,66 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0,27 * \sqrt[3]{R_{ck}^2} = 2,89 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione	$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} = 2,02 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\sigma_c = 0,60 * f_{ck} = 16,80 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)	$\sigma_c = 0,45 * f_{ck} = 12,60 \text{ N/mm}^2$
Classe di esposizione	XC3+XF2
Classe di consistenza	S4

#### 3.3 CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER CORDOLI

Classe	C32/40
Resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} = 40 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = f_{ck}/1,5 = 21,33 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0,27 * \sqrt[3]{R_{ck}^2} = 3,15 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione	$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} = 2,21 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\sigma_c = 0,60 * f_{ck} = 19,20 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)	$\sigma_c = 0,45 * f_{ck} = 14,40 \text{ N/mm}^2$
Classe di esposizione	XC4+XD1+XF2
Classe di consistenza	S4/S5

### 3.4 ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

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

Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica a rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450/1,15 = 391,30 \text{ N/mm}^2$
Deformazione caratteristica al carico massimo	$\epsilon_{uk} = 7,5 \%$
Deformazione di progetto	$\epsilon_{ud} = 6,75 \%$

### 3.5 COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE

Ai fini di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

Il copriferro nominale  $c_{nom}$  è somma di due contributi, il copriferro minimo  $c_{min}$  e la tolleranza di posizionamento  $h$ . Vale pertanto:  $c_{nom} = c_{min} + h$ .

La tolleranza di posizionamento delle armature  $h$ , per le strutture gettate in opera, può essere assunta pari ad almeno 10 mm. Considerata la Classe di esposizione ambientale dell'opera, si adotta un copriferro minimo pari a 40mm, pertanto  $c_{nom}=50 \text{ mm}$ , valore valido per tutte le parti di struttura.

## 4 PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DELLE STRUTTURE

Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche dei terreni presenti in corrispondenza dell'opera.

I parametri necessari a definire le caratteristiche del terreno ai fini del calcolo delle strutture sono di seguito riportati:

### Strato di ricoprimento e di rinfiacco

Descrizione	Terreno di ricoprimento	
Spessore dello strato	1.20	[m]
Peso di volume	20.0000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	20.0000	[kN/mc]
Angolo di attrito	35.00	[°]
Coesione	0.000	[N/mm <sup>2</sup> ]

## 5 CRITERI DI CALCOLO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

In ottemperanza all'Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 e successive integrazioni e modifiche (*Ordinanze n. 3316, 3431, 3519*), *le verifiche vengono condotte secondo il metodo semi-probabilistico agli Stati Limite.*

Le spinte delle terre, considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti, sono calcolate in regime di spinta a riposo; per il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni così come riportato nel § 4.4.3 dell'ordinanza ministeriale, l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato come:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2$$

Il punto di applicazione è posto  $h_{tot} / 2$ , con "h<sub>tot</sub>" altezza del paramento su cui agisce la spinta delle terre.

La struttura a realizzarsi deve conservare sotto l'azione sismica il suo comportamento elastico, quindi senza innesco di sistemi dissipativi (cerniere plastiche stabili).

Il punto di applicazione è posto  $h_{tot} / 2$ , con "h<sub>tot</sub>" altezza del paramento su cui agisce la spinta delle terre.

### 5.1 AZIONI SISMICHE

Come si evince dal documento "Relazione Sismica" tutti i comuni interessati dal tracciato della nuova infrastruttura sono stati attribuiti alla zona sismica 3, per cui l'accelerazione di progetto è pari a  $a_g = 0,15 g$ .

### 5.2 CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEL TERRENO

I terreni interessati dal tracciato della nuova infrastruttura sono classificabili come terreni di tipo C a partire dal piano campagna, talora come tipo B. Il parametro S può essere assunto pari a 1.25

### 5.3 COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Gli effetti massimi generati dalle due componenti sismiche ai fini delle verifiche di resistenza allo SLU, possono essere ottenuti utilizzando come azione di progetto:

$$\gamma_1 \times E + G_k + P_k$$

dove  $\gamma_1 = 1.30$

## 6 PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI

### 6.1 PRO\_SAP

Il calcolo dello scatolare viene condotto con il programma PRO\_SAP (prodotto dalla 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria S.r.l. P.tta Schiatti 8/b 44100 Ferrara).

L'analisi strutturale e' condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi statici.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti.

Gli elementi utilizzati per la modellazione dello schema statico della struttura sono i seguenti:

- Elemento tipo BEAM (trave)
- Elemento tipo BOUNDARY (molla)
- Elemento tipo STIFFNESS (matrice di rigidezza)

Il codice di calcolo adottato e' ALGOR SUPERSAP prodotto dalla ALGOR INTERACTIVE SYSTEMS, Inc. Pittsburgh, PA, USA.

Il programma SUPERSAP applica il metodo degli elementi finiti a strutture di forma qualunque, comunque caricate e vincolate, nell'ambito del comportamento lineare delle stesse.

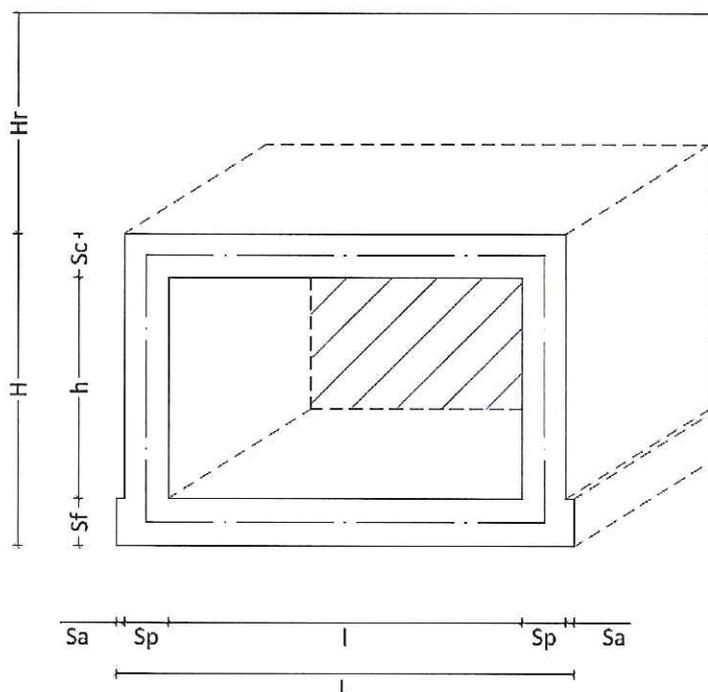
Si sottolinea che il solutore ALGOR SUPERSAP e' stato sottoposto, con esito positivo e relativa certificazione, ai test NAFEMS (test di confronto della National Agency for Finite Element Methods and Standards in Inghilterra).

Si sottolinea inoltre che solutore ALGOR SUPERSAP e' soggetto ad attivita' di controllo ai sensi della QA (quality assurance), condizione essenziale per l'utilizzo dei codici di calcolo nell'ambito della progettazione nucleare ed off-shore.

## 7 ANALISI DELLO SCATOLARE

### 7.1 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Si riportano di seguito le dimensioni geometriche della struttura:



*Dimensioni geometriche (sezione in retto):*

L	=	3,00	m
H	=	2,00	m
Hr	=	2,00	m
Sp	=	0,35	m
Ss	=	0,35	m
Sf	=	0,35	m

Cautelativamente si considera, con riferimento alla quota di intradosso fondazione, un'altezza di falda pari a:

Hw	=	1,33	m
----	---	------	---

## 7.2 MODELLAZIONE ADOTTATA

La struttura viene schematizzata attraverso un modello analitico agli elementi finiti. Si è assunto lo schema statico di telaio chiuso. La mesh è composta da 16 beam elements e da 16 nodi (figure 2a e 2b); l'output di calcolo viene raccolto nell'allegato.

L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi statici.

Il suolo viene modellato facendo ricorso all'usuale artificio delle molle elastiche alla Winkler.

La caratteristica elastica della generica molla viene calcolata nel seguente modo:

-  $W_s = K_s / (b t \times b l) =$  caratteristica elastica della generica molla

dove:

-  $K_s =$  costante di sottofondo [ $F/L^3$ ]

-  $b t =$  interasse trasversale di competenza della generica molla

-  $b l =$  interasse longitudinale di competenza della generica molla ( $= 1.00$  m)

Nel caso in esame, trattandosi di un'opera che interessa il primo strato superficiale di coltre, a favore di sicurezza si assume il valore della costante di sottofondo pari a:

$$K_s = 5000 \text{ kN/m}^3$$

Agli effetti delle caratteristiche geometriche delle varie aste si è quindi assunto:

-una sezione rettangolare  $b \times h = 100 \times S_s$  cm per la soletta superiore

-una sezione rettangolare  $b \times h = 100 \times S_r$  cm per la soletta di fondazione

-una sezione rettangolare  $b \times h = 100 \times S_p$  cm per i piedritti

Per le aste del reticolo si è assunto:

$$E_c = 31220 / 33720 \text{ N/mm}^2 ; \text{ modulo elastico del calcestruzzo } (R_{ck} = 28 / 35 \text{ N/mm}^2)$$

Lo schema statico della struttura e la relativa numerazione dei nodi e delle aste sono riportati nelle figure 2a, 2b.

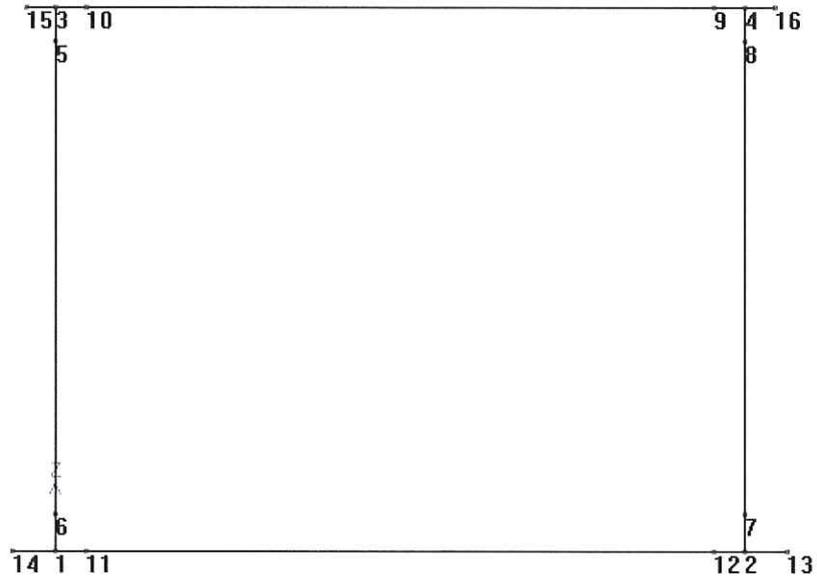


Fig. 2a - Numerazione dei nodi

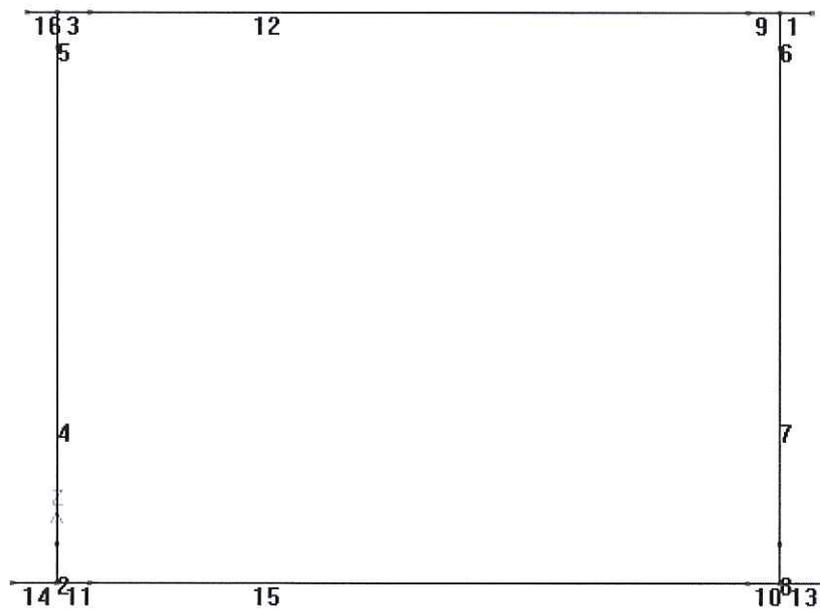


Fig. 2b - Numerazione delle aste

### 7.3 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari da assumere per le verifiche di resistenza in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

Vengono prese in considerazione n°28 Condizioni Elementari di carico (CDC1+ CDC 28), di seguito determinate.

Tali Combinazioni Elementari saranno opportunamente combinate secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

- calcestruzzo armato:	25 kN/m <sup>3</sup>
- rilevato	20 kN/m <sup>3</sup>
- sovrastruttura stradale	20 kN/m <sup>3</sup>

#### 7.3.1 PESO PROPRIO E CARICHI PERMANENTI PORTATI

##### Soletta superiore

peso proprio	0,35	*	25,00	=	8,75	kN/m <sup>2</sup>
peso sovrastruttura stradale	2,00	*	20,00	=	40,00	kN/m <sup>2</sup>
totale					48,75	kN/m <sup>2</sup>

##### Soletta inferiore

peso proprio	0,35	*	25,00	=	8,75	kN/m <sup>2</sup>
peso sovrastruttura stradale	0,00	*	20,00	=	0,00	kN/m <sup>2</sup>
totale					8,75	kN/m <sup>2</sup>

##### sbalzo soletta inferiore

peso proprio	0,35	*	25,00	=	8,75	kN/m <sup>2</sup>
peso terreno	4,35	*	20,00	=	87,00	kN/m <sup>2</sup>

su un'estensione di 20 cm esterni

##### Piedritti

peso proprio	0,35	*	25,00	=	8,75	kN/m <sup>2</sup>
--------------	------	---	-------	---	------	-------------------

Tali carichi vengono considerati nelle Condizioni Elementari CDC 1-2: in cui nella CDC1 sono presenti i pesi propri della struttura mentre nella CDC2 i pesi permanenti portati.

### 7.3.2 SPINTA DEL TERRENO

Il reinterro a ridosso dello scatolare verrà realizzato tramite materiale arido di buone caratteristiche meccaniche.

Secondo quanto riportato al cap. 4, si assumono, per la tratta di interesse, i seguenti parametri:

$$\begin{aligned}
 \gamma_{\text{terr}} &= 20,00 \text{ kN/m}^3 \\
 \gamma_w &= 10,00 \text{ kN/m}^3 \\
 \phi &= 35,00^\circ \\
 k_o &= 0,426 \\
 k_a &= 0,271
 \end{aligned}$$

Vengono presi in considerazione i due coefficienti di spinta: il primo massimizza nelle varie combinazioni di carico il momento in mezzzeria, mentre il secondo all'incastro.

Si applicano, di conseguenza, i valori delle spinte secondo la profondità con

$$p_h = \lambda_a \gamma_t Z$$

e con il consueto diagramma trapezoidale delle pressioni orizzontali.

#### 1) In assenza di falda esterna allo scatolare

Le pressioni del terreno relative alla spinta a riposo, in corrispondenza dei nodi caratteristici dei piedritti, risultano essere le seguenti:

$$\begin{aligned}
 p_2 &= [20,00 * 2,00 + 20,00 * 0,175] * 0,426 &= \mathbf{18,55 \text{ kN/m}^2} \\
 p_{12} &= p_2 + [20,00 * 0,175] * 0,426 &= \mathbf{20,04 \text{ kN/m}^2} \\
 p_w &= p_{12} + [20,00 * 0,67] * 0,426 &= \mathbf{25,73 \text{ kN/m}^2} \\
 p_{11} &= p_w + [10,00 * 1,33] * 0,426 + 10,00 * 1,33 &= \mathbf{44,75 \text{ kN/m}^2} \\
 p_1 &= p_{11} + [10,00 * 0,175] * 0,426 + 10,00 * 0,175 &= \mathbf{47,24 \text{ kN/m}^2}
 \end{aligned}$$

Tali spinte vengono considerate nella Condizione Elementare (CDC 3) sul piedritto sx e nella Condizione Elementare (CDC 4) sul piedritto dx.

Le pressioni del terreno relative alla spinta attiva, in corrispondenza dei nodi caratteristici dei piedritti, risultano essere le seguenti:

$$\begin{aligned}
 p_2 &= [20,00 * 2,00 + 20,00 * 0,175] * 0,271 &= \mathbf{11,79 \text{ kN/m}^2} \\
 p_{12} &= p_2 + [20,00 * 0,175] * 0,271 &= \mathbf{12,74 \text{ kN/m}^2} \\
 p_w &= p_{12} + [20,00 * 0,67] * 0,271 &= \mathbf{16,35 \text{ kN/m}^2} \\
 p_{11} &= p_w + [10,00 * 1,33] * 0,271 + 10,00 * 1,33 &= \mathbf{33,30 \text{ kN/m}^2} \\
 p_1 &= p_{11} + [10,00 * 0,175] * 0,271 + 10,00 * 0,175 &= \mathbf{35,52 \text{ kN/m}^2}
 \end{aligned}$$

Tali spinte vengono considerate nella Condizione Elementare (CDC 5) sul piedritto sx e nella Condizione Elementare (CDC 6) sul piedritto dx.

Nelle combinazioni di carico verranno considerate:

- 1) Spinta a riposo su entrambi i piedritti;
- 2) Spinta attiva su ambo i piedritti;
- 3) Spinta a riposo su piedritto sx e spinta attiva su piedritto dx;

La condizione di spinta 3) serve a mettere in conto possibili situazioni (anche temporanee) di disomogeneità nei costipamenti o altre condizioni che possano generare situazioni di spinte asimmetriche sull'opera. La condizione di spinta attiva, sebbene poco realistica considerando le caratteristiche dell'opera, viene comunque considerata a favore di sicurezza per massimizzare i valori delle sollecitazioni flessionali in corrispondenza delle mezzerie delle solette.

Naturalmente queste spinte saranno opportunamente combinate, utilizzando i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi.

### **7.3.3 SPINTA FALDA INTERNA ALLO SCATOLARE**

Si considera il contributo della spinta dell'acqua interna al tombino scatolare. Il valore della spinta idrostatica ha il consueto andamento lineare con la profondità nei piedritti, assumendo valore massimo alla base pari a:

$$S_w = 20 \text{ kN/m}^2$$

(Condizione Elementare CDC 7)

### **7.3.4 CARICHI MOBILI VERTICALI SULLA SOLETTA SUPERIORE**

Come carico accidentale gravante sulla soletta superiore si assume il carico di normativa Q1.a (ossia il mezzo convenzionale da 60t a tre assi da 20t ognuno, interassati di 1.50m lungo il senso di marcia e di larghezza 2.30m, comprese le dimensioni delle impronte) e ove possibile, il carico ripartito  $q_{1,b}$  da 30kN/m.

Tale carico viene posizionato ortogonalmente all'asse del sottopasso e considerato ripartito sia in direzione longitudinale che trasversale.

Le larghezze su cui si considera agente il carico sono:

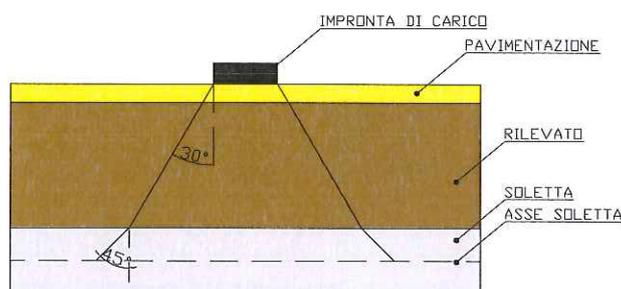
in direzione longitudinale alla strada:

detta  $L_{dl}$  la larghezza di diffusione del carico longitudinale dal piano stradale alla quota del piano medio della soletta superiore, assumendo che detta diffusione avvenga con angolo di diffusione di 30° attraverso il rilevato stradale e di 45° sino al piano medio della soletta superiore:

$$L_{dl} = 3.30 + 2 * ( 2.00 * \text{tg}30^\circ + 0.175 ) = 5.96 \text{ m}$$

in direzione trasversale alla strada:

detta  $L_{dt}$  la larghezza di diffusione del carico trasversale dal piano stradale alla quota del piano medio della soletta superiore, assumendo che detta diffusione avvenga con angolo di diffusione di  $30^\circ$  attraverso il rilevato stradale e di  $45^\circ$  sino al piano medio della soletta superiore



Risulta:

$$L_{dt} = 2.30 + 2 * ( 2,00 * \operatorname{tg}30^\circ + 0,175 ) = 4,96 \text{ m}$$

tale valore viene comunque limitato alla larghezza d'ingombro della stesa di carico per cui:

$$b_t = 3.50 \text{ m}$$

Il valore di  $L_{dt}$  viene inoltre limitato conseguentemente alla presenza della seconda colonna di carico: il carico della 1° colonna, in corrispondenza dell'adiacenza alla 2° colonna, può essere diffuso al massimo fino a 0.60m all'esterno dell'impronta del carico.

La pressione dovuta al  $Q_{1.a}$  risulta pertanto:

$$Q_{1.a} = 600 * 1,4 / (5,96 * 3,50) = 40,27 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{1.b} = 30 * 1,4 / 3,50 = 12,00 \text{ kN/m}^2$$

essendo il coefficiente di incremento dinamico pari a 1,4

(Condizione Elementare CDC 8-9-10-11)

Come carico accidentale gravante sulla soletta superiore, si ipotizza anche il caso in cui l'intera soletta sia gravata da un carico distribuito di intensità pari a  $20 \text{ kN/m}^2$ .

(Condizione Elementare CDC 12)

### 7.3.5 FRENATURA

Il carico frenante di normativa ( $q_3$ ) è pari al 20% del carico di normativa  $Q_{1,a}$ , con impronta pari a 3.5m.

Il valore della frenatura equivalente da applicare alla soletta, si ottiene distribuendo il valore del carico frenante, alla lunghezza della soletta e alla larghezza di diffusione del carico in direzione trasversale ( $L \cdot L_{dt}$ ), con la seguente relazione:

$$q_{3,dis} = (0.20 \cdot 600) / (3,50 \cdot 3,70) = 9,27 \text{ kN/m}^2$$

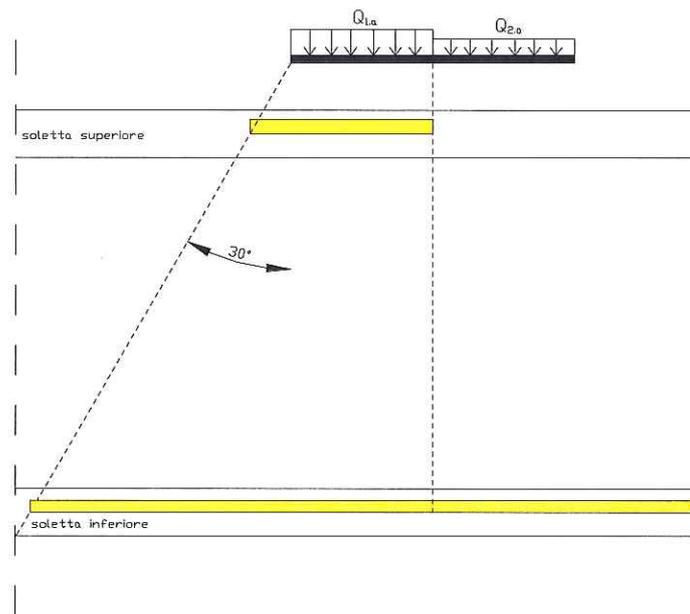
(Condizione Elementare CDC 19)

### 7.3.6 SPINTA DEL SOVRACCARICO SUL RILEVATO

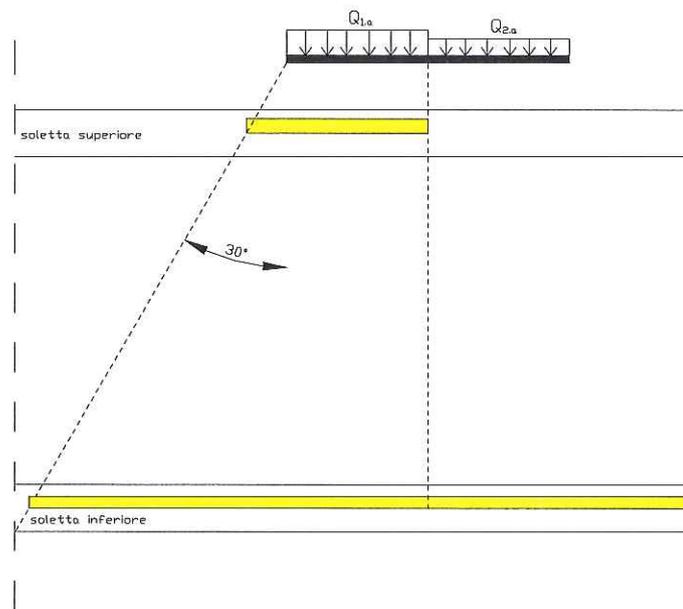
Il calcolo delle spinte generate dal sovraccarico sul rilevato dovuto al  $Q_{1,a}$ , si può considerare applicato lo schema di carico 1, in cui per semplicità i carichi tandem possono essere sostituiti da carichi uniformemente distribuiti equivalenti, applicati su una superficie rettangolare larga 4,45 m e lunga 3,45 m. Anche in questo caso si tiene in conto la diffusione a  $30^\circ$  del carico attraverso il rilevato sia in direzione longitudinale che trasversale, pertanto otterremo un carico che diminuisce secondo l'altezza del piedritto, partendo dalla massima intensità sulla superficie di applicazione (piano viario) fino alla minima intensità in corrispondenza della soletta inferiore.

Il carico tandem trasformato in carico uniformemente distribuito assume il valore di  $600 / (4,45 \cdot 3,45) = 38,99 \text{ kN/m}^2$ .

Schema di carico utilizzato a ridosso del rilevato (direzione lungo asse di corsia)



Per il calcolo delle azioni agenti sulle pareti dello scatolare, si considera il carico distribuito dovuto alla colonna di carico 1, limitando la diffusione del carico sul lato della seconda colonna di carico secondo lo schema seguente:



Tale distribuzione di carico fornisce alle pareti una spinta variabile lungo l'altezza, con intensità nei nodi superiore e inferiore pari a (asse solette):

$$q'_{Q1a,sup} = 11,92 \text{ kN/m}^2 \quad [\text{coeff. di spinta a riposo}]$$

$$q'_{Q1a,inf} = 7,13 \text{ kN/m}^2 \quad [\text{coeff. di spinta a riposo}]$$

Il carico uniformemente distribuito fornisce alle pareti una spinta costante sull'altezza di intensità pari a:

$$q'_{q1b} = 12,00 * 0,43 = 5,12 \text{ kN/m}^2 \quad [\text{coeff. di spinta a riposo}]$$

$$q'_{acc20} = 20 * 0,43 = 8,53 \text{ kN/m}^2 \quad [\text{coeff. di spinta a riposo}]$$

Tali spinte vengono considerate nelle seguenti Combinazioni Elementari:

- agenti sul piedritto sinistro
- agenti su ambo i piedritti

(CDC 13÷18)

### ***7.3.7 AZIONI TERMICHE***

Sono stati considerati gli effetti dovuti alle variazioni termiche. In particolare, è stata considerata una variazione termica uniforme di  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  sulla soletta superiore (CDC 26) ed un salto termico di  $5^{\circ}\text{C}$ , analizzando i due casi di intradosso più caldo dell'estradosso e viceversa, con andamento lineare nello spessore della soletta superiore (CDC 27).

Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 10 * 10^{-6} = 0.00001 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### 7.3.8 RITIRO

Si considera soggetta a fenomeni di ritiro la sola soletta superiore.

Si ammetteranno per il ritiro finale  $\varepsilon_{cs}$  ( $t_{\infty}$ ,  $t_0$ ) i seguenti valori:  $\varepsilon_{cs}$

#### a) Atmosfera con umidità relativa di circa 75%

$t_0$	$\alpha \leq 20$ cm	$\alpha \geq 60$ cm
1 ÷ 7 giorni	$0,26 \times 10^{-3}$	$0,21 \times 10^{-3}$
8 ÷ 60 giorni	$0,23 \times 10^{-3}$	$0,21 \times 10^{-3}$
> 60 giorni	$0,16 \times 10^{-3}$	$0,20 \times 10^{-3}$

dove:

$\varepsilon_{cs}$  è la deformazione totale per ritiro

in cui:

$t_0$  = età conglomerato a partire dalla quale si considera l'effetto del ritiro;

$\alpha$  = dimensione fittizia =  $2A_c/U$

$A_c$  = area della sezione del conglomerato;

$u$  = perimetro della sezione di conglomerato a contatto con l'atmosfera.

Per valori intermedi si interpolerà linearmente.

$$\alpha = 1$$

Pertanto:

$$\varepsilon_{cs} = 0,16 \cdot 10^{-3}$$

Trattandosi di un fenomeno lento si considera  $E_c/3$ .

Nel modello di calcolo viene applicato come un  $\Delta T$  pari a  $5^\circ$

(CDC 28)

### 7.3.9 AZIONE SISMICA

1 - Ai fini delle azioni verticali sulla soletta superiore, non considerando i carichi permanenti si ha:

Soletta	8,75	kN/m <sup>2</sup>
Permanente	40,00	kN/m <sup>2</sup>
Inerzia (permanente + soletta +0%accidentale (P*k <sub>v</sub> ))	5,94	kN/m <sup>2</sup>
<b>Totale</b>	<b>54,69</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

Inerzia piedritti:

$$V_{i,pied} = 1,07 \text{ kN/m}$$

(Combinazioni Elementari CDC 24)

2 - Ai fini delle azioni orizzontali, sui piedritti si considera il contributo della sovraspinta sismica dovuto al sisma oscillatorio e le spinte inerziali agenti sui piedritti, mentre sulla soletta superiore si considera l'inerzia della stessa nonché i permanenti portati.

La risultante delle forze inerziali orizzontali indotte dal sisma viene valutata con la seguente espressione:

$$F_h = P \cdot S \cdot a_g \cdot \gamma_l$$

P = peso proprio;

S = parametro legato al terreno;

a<sub>g</sub> = accelerazione di picco al suolo;

γ<sub>l</sub> = coefficiente di protezione.

(Combinazioni Elementari CDC 23)

spinta inerziale sulla soletta superiore

$$H_{i,sol} = 11,88 \text{ kN/m}$$

spinta inerziale sui piedritti

$$H_{i,pied} = 2,13 \text{ kN/m}$$

Sovraspinta sismica:

Nel caso di sisma orizzontale vi è da considerare la spinta derivante dall'oscillazione del cuneo di terreno spingente con l'applicazione del diagramma rettangolare di pressioni, tipico dei muri di sostegno, avente la risultante a 0.5 dell'altezza. Per tener conto dell'incremento di spinta del terreno dovuta al sisma si fa riferimento alla OPCM n° 3274.

L'incremento di spinta sismica  $\Delta F$ :

$$\Delta F = S \cdot a_g \cdot \gamma \cdot h \cdot \gamma_l$$

$$\Delta F = 22,913 \text{ kN/m}$$

La risultante di tale incremento di spinta viene applicata ad  $h/2$  del piedritto.

Per quanto riguarda le azioni sismiche, si implementa un'apposita condizione di carico; tale condizione di carico che mette in conto i pesi permanenti, l'inerzia della soletta superiore ed i gravanti su di essa, l'inerzia dei piedritti ed infine la sovraspinta sismica.

## 8 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

### 8.1 CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

Le condizioni elementari di carico considerate sono di seguito riassunte:

CDC	Sigla Id
1	CDC=G <sub>gk</sub> (peso proprio della struttura)
2	CDC=G <sub>k</sub> (permanente)
3	CDC=G <sub>k</sub> (Spinta a riposo piedritto sx)
4	CDC=G <sub>k</sub> (Spinta riposo piedritto dx )
5	CDC=G <sub>k</sub> (Spinta attiva piedritto sx)
6	CDC=G <sub>1k</sub> (Spinta attiva piedritto dx)
7	CDC=Q <sub>k</sub> (Spinta acqua interna)
8	CDC=Q <sub>k</sub> (Q1a centrato)
9	CDC=Q <sub>k</sub> (Q1a a filo piedritto dx)
10	CDC=Q <sub>k</sub> (Q1a a filo piedritto sx)
11	CDC=Q <sub>k</sub> (Accidentale Q1a a L/4 su soletta)
12	CDC=Q <sub>k</sub> (Accidentale 20kN/mq)
13	CDC=Q <sub>k</sub> (Accidentale su piedritto sx (Q1a))
14	CDC=Q <sub>k</sub> (Accidentale su piedritto dx(Q1a))
15	CDC=Q <sub>k</sub> (Accidentale (q1b) su piedritto sx)
16	CDC=Q <sub>k</sub> (Accidentale (q1b) su piedritto dx)
17	CDC=Q <sub>k</sub> (Accidentale 20kPa su piedritto sx)
18	CDC=Q <sub>k</sub> (Accidentale 20kPa su piedritto dx)
19	CDC=Q <sub>k</sub> (frenatura)
20	CDC=Q <sub>k</sub> (acc sol inf campata dx)
21	CDC=Q <sub>k</sub> (acc sol inf campata sx)
22	CDC=Q <sub>k</sub> (acc sol inf campata dx-sx)
23	CDC=Q <sub>k</sub> (sisma orizzontale)
24	CDC=Q <sub>k</sub> (sisma verticale)
26	CDC=Q <sub>k</sub> (Termica uniforme)
27	CDC=Q <sub>k</sub> (At farfalla)
28	CDC=Q <sub>k</sub> (Ritiro soletta)

Le azioni caratteristiche, al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto, per effettuare le successive verifiche di resistenza, vengono desunte combinando fra loro le suddette Condizioni Elementari. Nella tabella di seguito sono riportati le combinazioni base prescritte da norma sulle quali implementare tutti i possibili scenari di carico della struttura:

Azione	gruppo	g1	g2	g3	s1	s2	s3	s4	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9
<i>METODO TEN. AMMISSIBILI</i>																	
A I	1	1	1( $\beta_1$ )	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
A II	1	1	1( $\beta_1$ )	1	1	1	1	1	1	0	0	0,8*	0	1	1	1	
A III	1	1	1( $\beta_1$ )	1	1	1	1	1	1	1	0	0,2	0	1	1	1	
A IV	1	1	1( $\beta_1$ )	1	1	1	1	1	1	0	1	0,2	0	1	1	1	
A V	1	1	1( $\beta_1$ )	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
<i>STATI LIMITE DI ESERCIZIO RESSURAZIONE</i>																	
F I	1	1	1( $\beta_1$ )	1	1	1	1	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	
F II	1	1	1( $\beta_1$ )	1	1	1	1	$\psi_1$	$\Psi_1$	0	0	0	0	0	0	0	
F III	1	1	1( $\beta_1$ )	1	1	1	1	$\psi_2$	$\Psi_2$	0	0	0	0	0	0	0	

Per ulteriori stati limite di esercizio valgono A I, A II, A III, A IV

*STATI LIMITE ULTIMI*

U I	1,5(1,0)	1,5(1,0)	1,5( $\beta_2$ )	1,2(0,85)	1,2(0)	1,2(0)	1,2(0)	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	(**)		
U II	1,5(1,0)	1,5(1,0)	1,5( $\beta_2$ )	1,2(0,85)	1,2(0)	1,2(0)	1,2(0)	1,5	1,5	0	0	0,9	1,5	1,5			
U III	1,5(1,0)	1,5(1,0)	1,5( $\beta_2$ )	1,2(0,85)	1,2(0)	1,2(0)	1,2(0)	1,5	1,5	1,5	0	0,3	1,5	1,5			
U IV	1,5(1,0)	1,5(1,0)	1,5( $\beta_2$ )	1,2(0,85)	1,2(0)	1,2(0)	1,2(0)	1,5	1,5	0	1,5	0,3	1,5	1,5			

$\beta_1 = 0,7$  per spinta delle terre

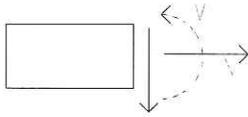
$\beta_2 = 0,5$  per spinta delle terre

Il calcolo della struttura in esame viene condotto con il programma PRO\_SAP (prodotto dalla 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria S.r.l. P.tta Schiatti 8/b 44100 Ferrara).

L' analisi strutturale e' condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi statici.

Per un esame più dettagliato dei risultanti del calcolo elettronico si rimanda agli output allegati.

Le convenzioni adottate per le sollecitazioni di segno positivo sono le seguenti.



Per determinare le sollecitazioni più gravose nelle varie sezioni dello scatolare si sono composti i risultati ottenuti nel calcolo agli elementi finiti per le Combinazioni considerate.

La tabella seguente, riportata per esteso tutte le combinazioni di carico adottate ai fini del dimensionamento della struttura, rispettivamente per le condizioni di carico allo SLU e SLE , come previsto dal DM90 e dal DM96.

I valori numerici riportati nelle colonne della tabella indicano il coefficiente moltiplicativo con il quale la Condizione Elementare è considerata. Tali valori sono il risultato dei prodotti tra coefficienti parziali operanti sulle azioni, così come precedentemente esposto e riassunto nella seguente tabella:

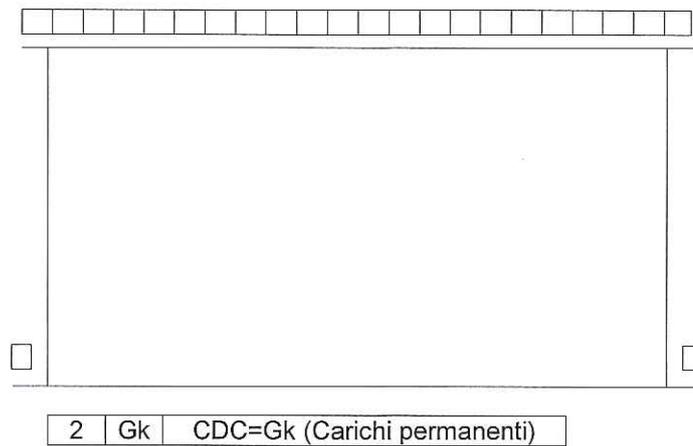


## 8.2 SCHEMI DI CARICO

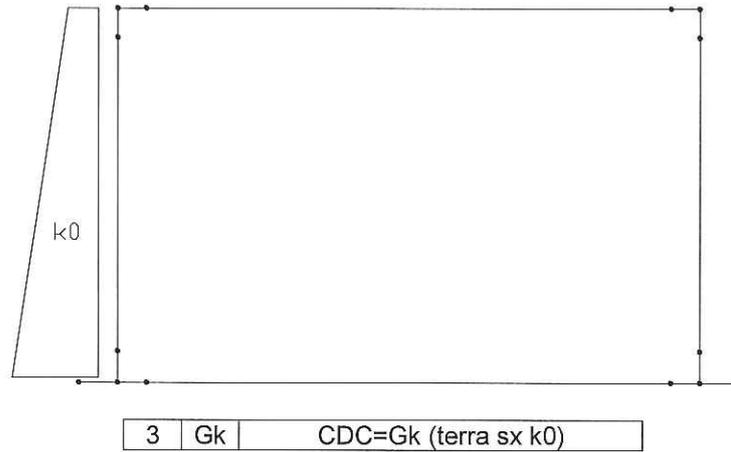
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC1*



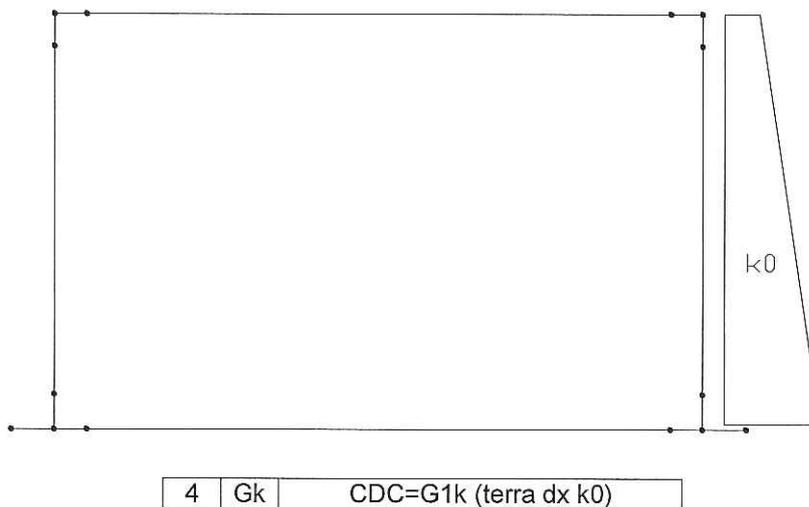
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC2*



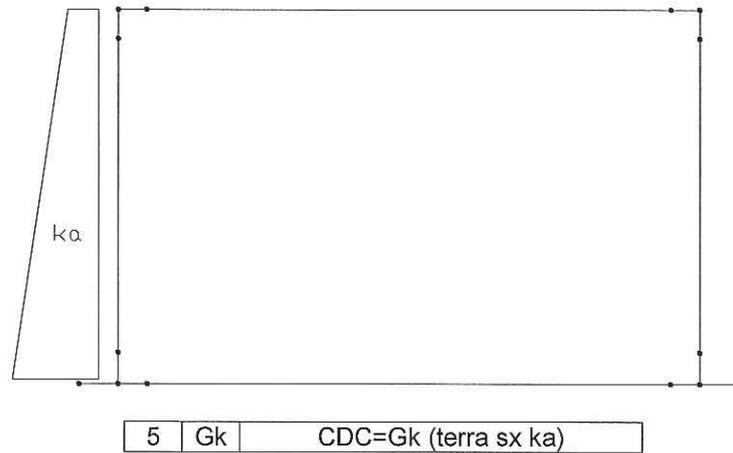
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC3*



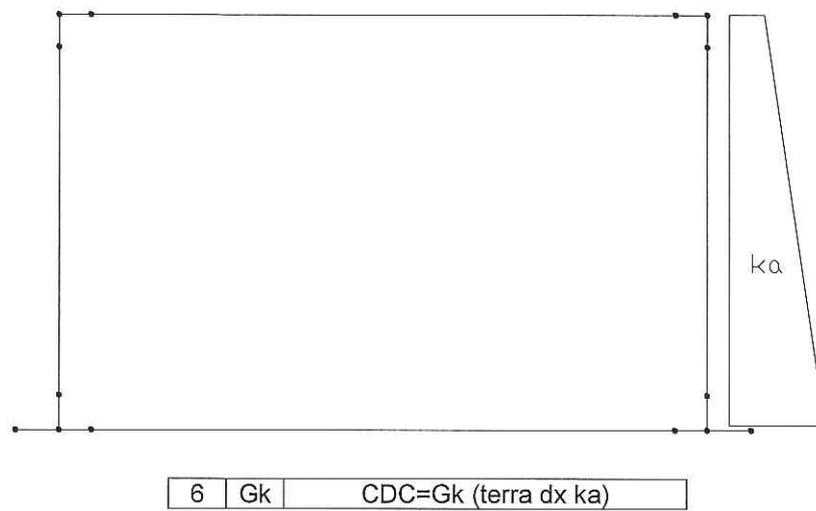
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC4*



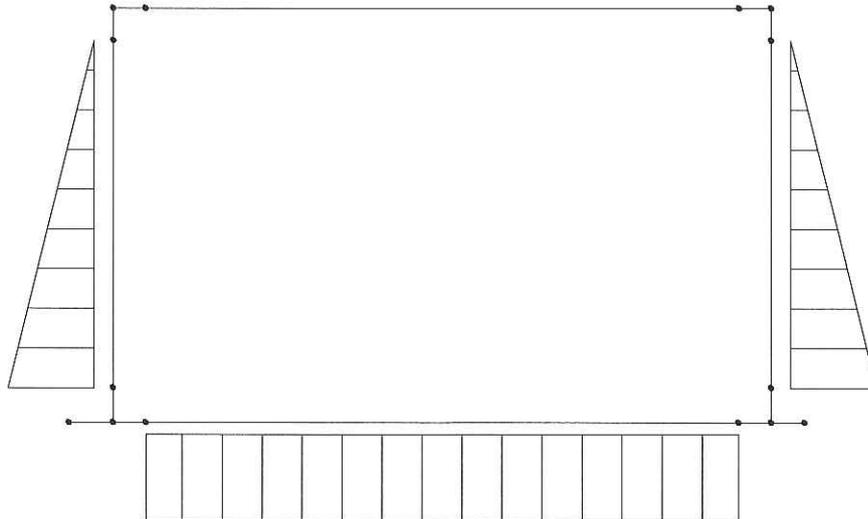
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC5*



SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC6*

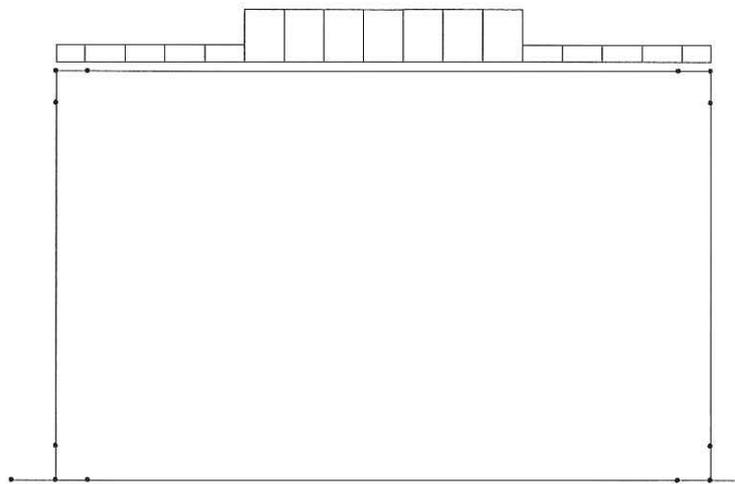


SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC8*



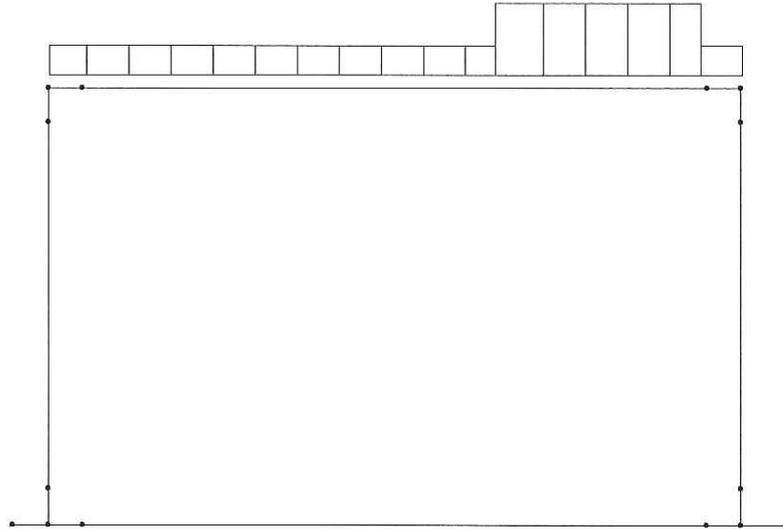
7 | Gk | CDC=Gk (spinta idraulica interna)

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC8*



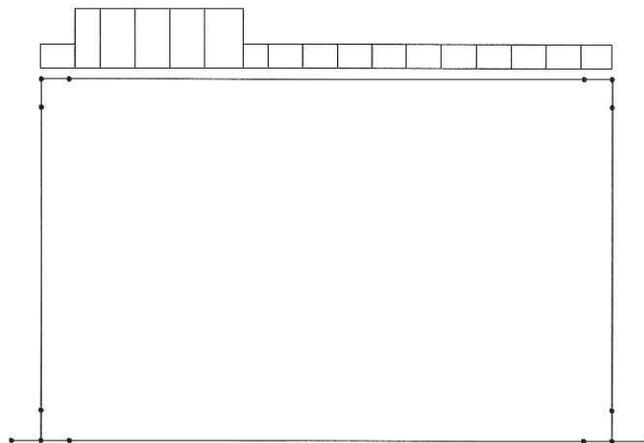
8 | Qk | CDC=Qk (Q1a centrato)

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC9*



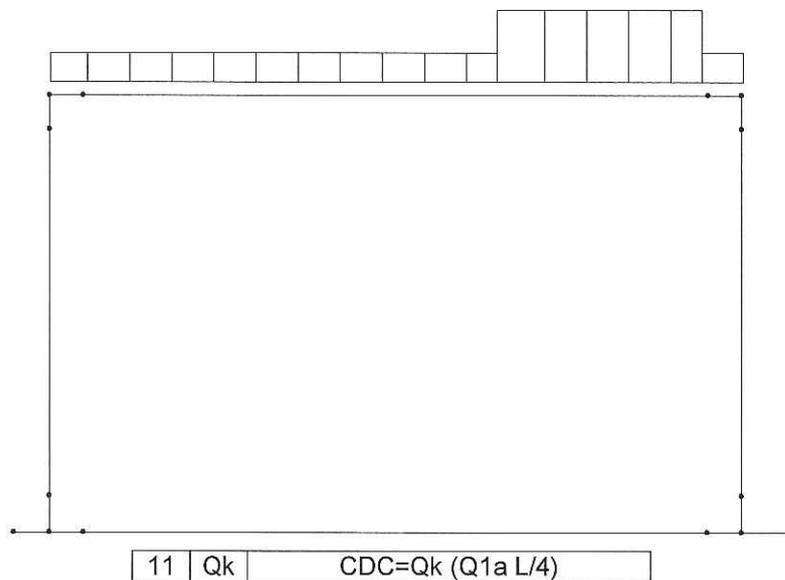
9	Qk	CDC=Qk (Q1a piedritto dx)
---	----	---------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC10*

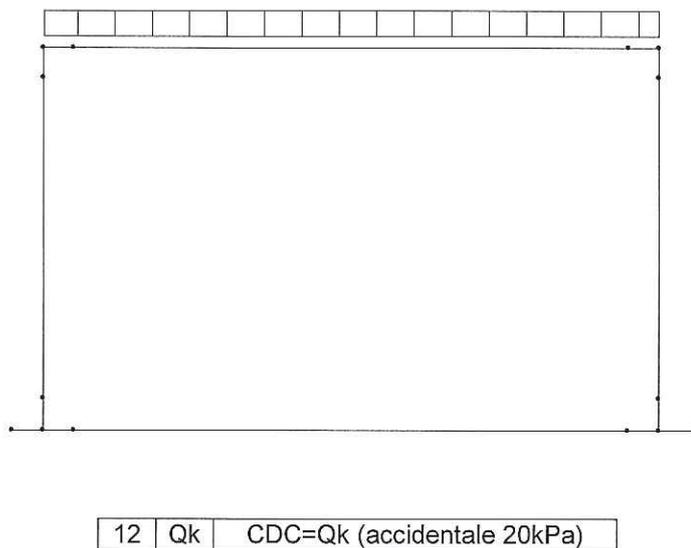


10	Qk	CDC=Qk (Q1a piedritto sx)
----	----	---------------------------

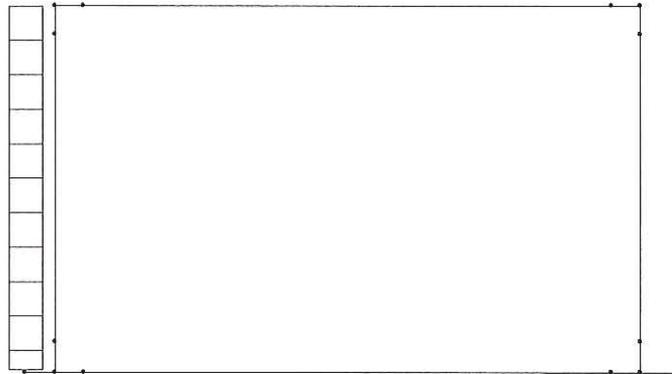
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC11*



SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC12*

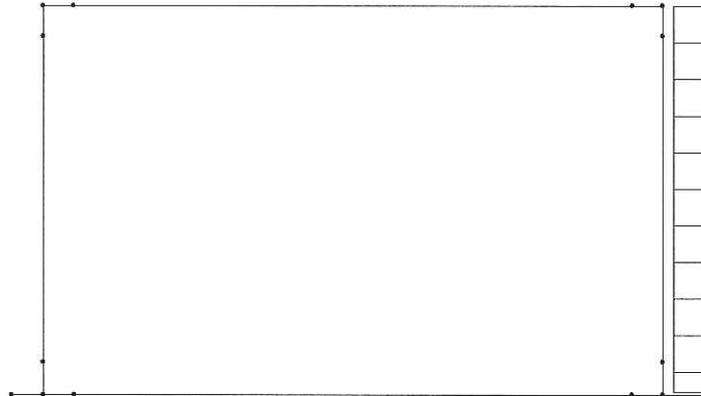


SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC13*

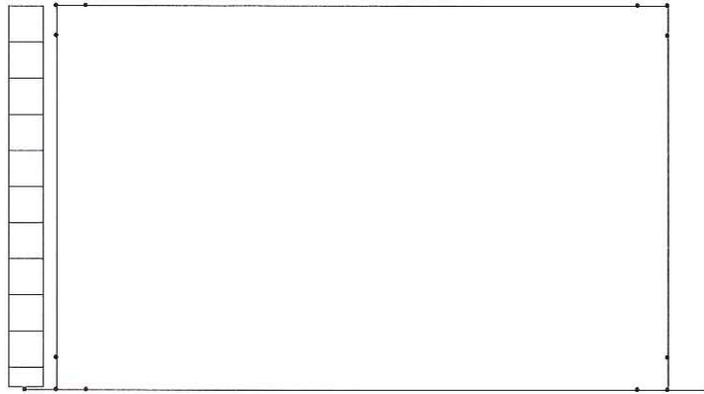


13	Qk	CDC=Qk (Q1k sx)
----	----	-----------------

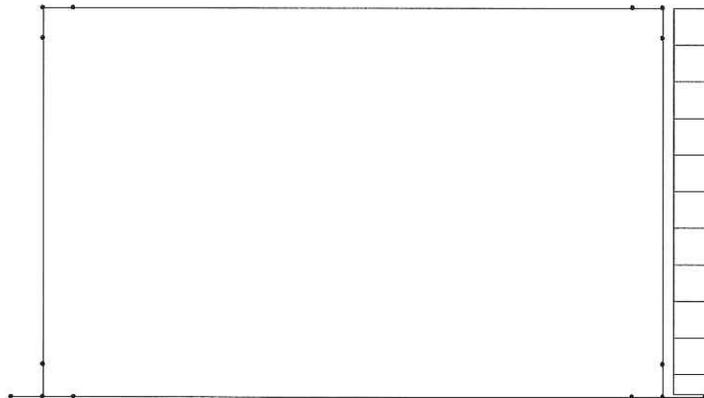
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC14*



14	Qk	CDC=Qk (Q1k dx)
----	----	-----------------

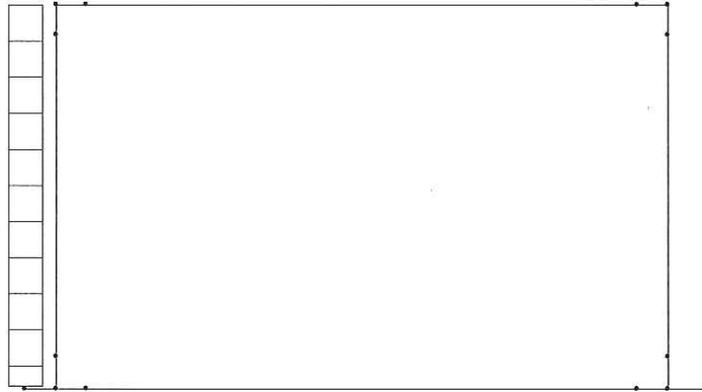
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC15*


15	Qk	CDC=Qk (q1b a sx)
----	----	-------------------

 SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC16*


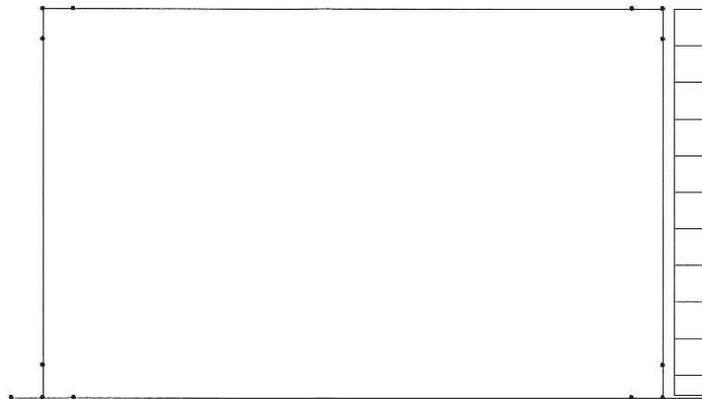
16	Qk	CDC=Qk (q1b a dx)
----	----	-------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC17*



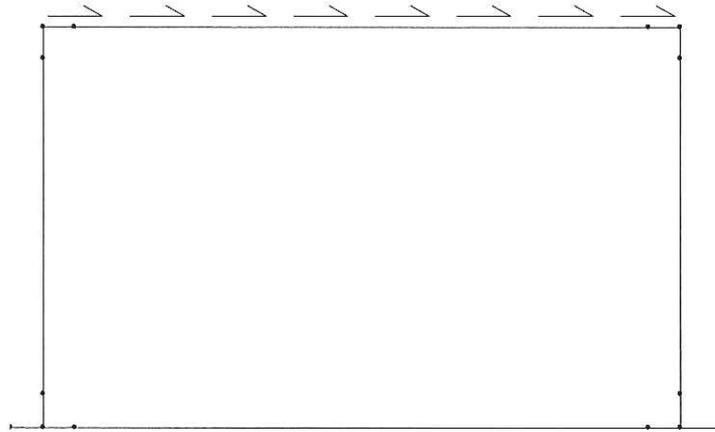
17	Qk	CDC=Qk (20kPa a sx)
----	----	---------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC18*



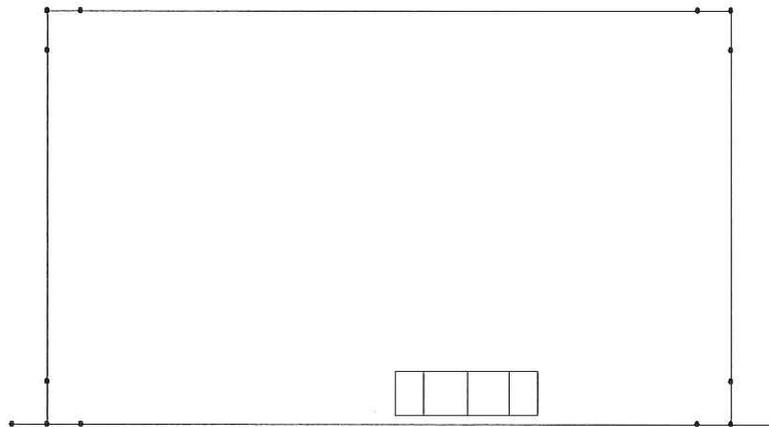
18	Qk	CDC=Qk (20kPa dx)
----	----	-------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC19*



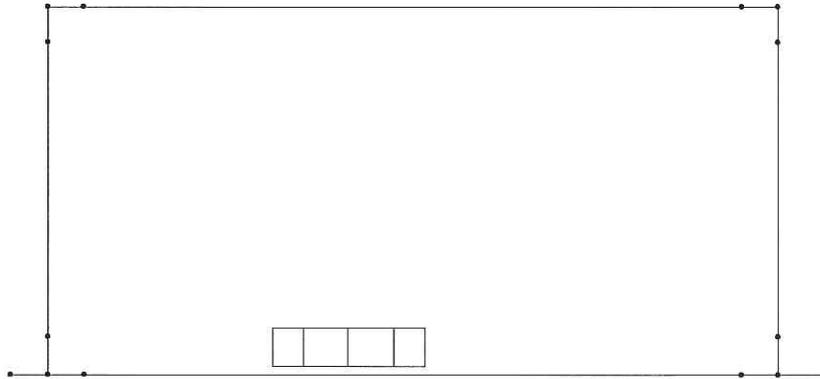
19	Qk	CDC=Qk (Frenatura)
----	----	--------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC20*



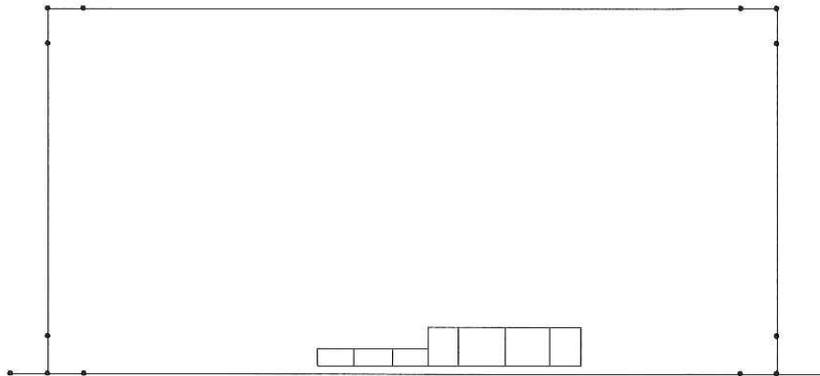
20	Qk	CDC=Qk (Accidentale inferiore dx)
----	----	-----------------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC21



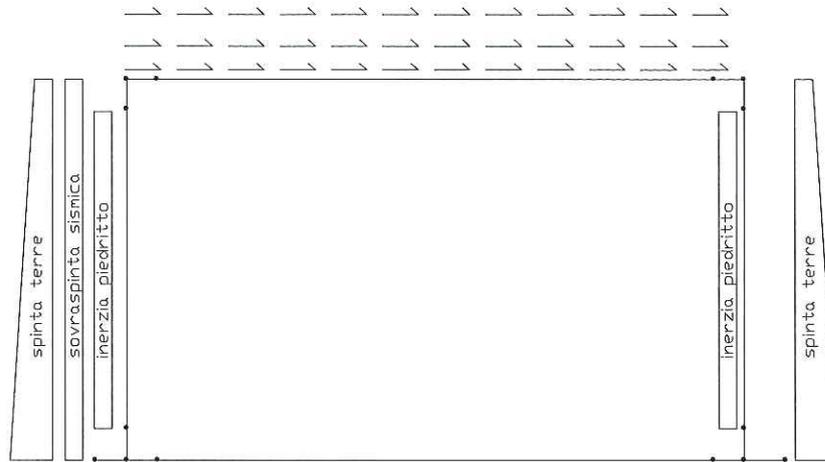
21	Qk	CDC=Qk (Accidentale inferiore sx)
----	----	-----------------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC22



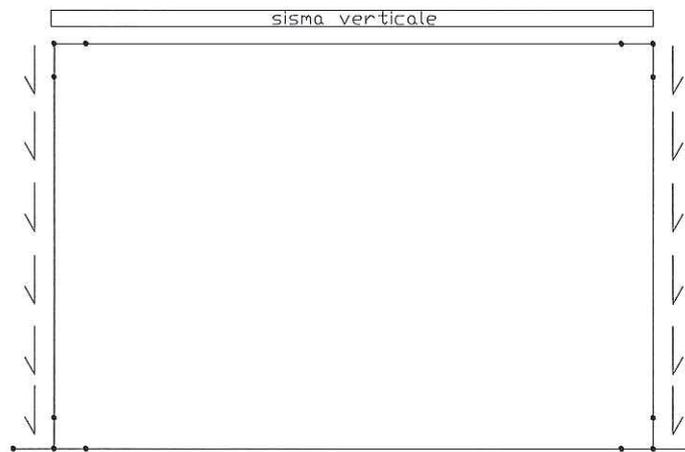
22	Qk	CDC=Qk (Accidentale inferiore dx-sx)
----	----	--------------------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC23



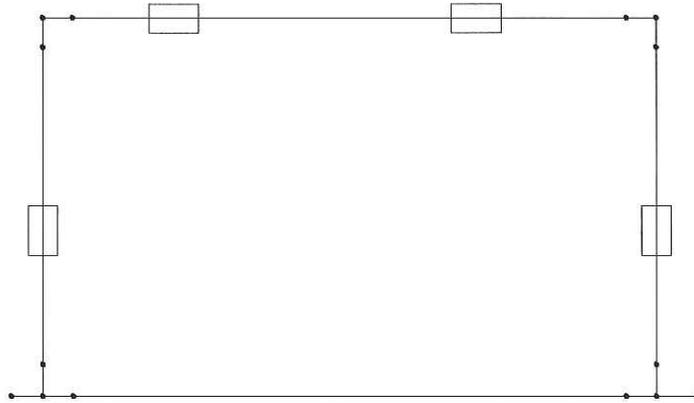
23	Qk	CDC=Qk (Sisma orizzontale)
----	----	----------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC24



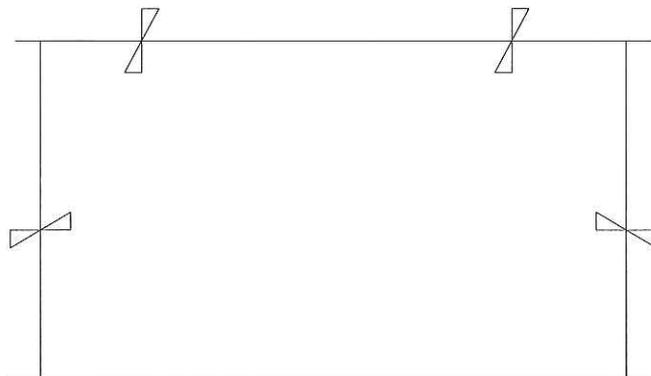
24	Qk	CDC=Qk (Sisma verticale)
----	----	--------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC26



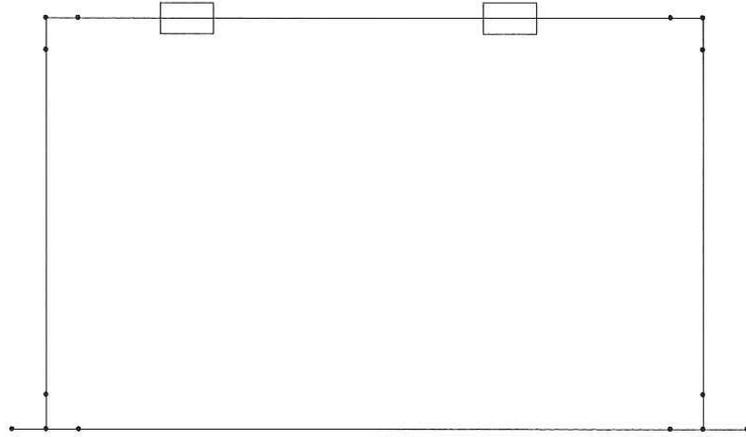
26 | Qk | CDC=Qk (Termica uniforme)

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC27



27 | Qk | CDC=Qk (Termica farfalla soletta)

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC28



28	Qk	CDC=Qk (Ritiro)
----	----	-----------------

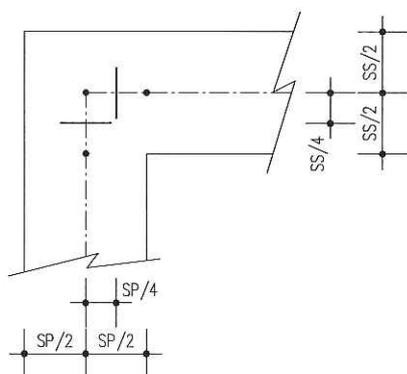
## 9 VERIFICHE DI RESISTENZA ED A FESSURAZIONE SCATOLARE

Di seguito si riportano le verifiche delle sezioni per le aste più significative e per le Combinazioni di carico risultate più critiche.

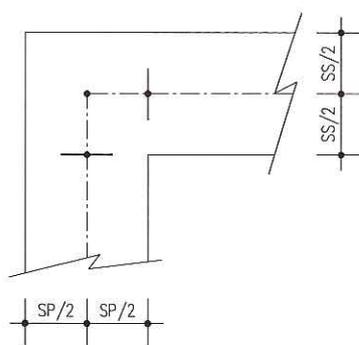
Le verifiche a flessione vengono effettuate rispettivamente:

- nella sezione ubicata a metà fra asse piedritto e sezione d'attacco piedritto-soletta nel caso delle verifiche della soletta;
- nella sezione ubicata a metà fra asse soletta e sezione d'attacco del piedritto nel caso delle verifiche del piedritto.

Le verifiche a fessurazione ed a taglio vengono eseguite nelle sezioni di attacco soletta-piedritto.



VERIFICHE A FLESSIONE



VERIFICHE A FESSURAZIONE E TAGLIO

I calcoli di verifica per la condizione in esercizio sono effettuati con il metodo degli Stati Limite. Per la condizione sismica si eseguono verifiche tensionali controllando che i materiali si mantengano in campo elastico così come prescritto dall'Ordinanza n° 3274 e successive revisioni.

Le verifiche a fessurazione sono state condotte considerando:

- Verifica di formazione delle fessure: in sezione interamente reagente e per le sollecitazioni di esercizio si determina la massima trazione nel calcestruzzo  $\sigma_{ct}$  confrontandola con la resistenza caratteristica a trazione per flessione  $f_{ctk}$ : se risulta  $\sigma_{ct} < f_{ctk}$  la verifica è soddisfatta, altrimenti si procede alla verifica di apertura delle fessure.
- Verifica di apertura delle fessure: l'apertura convenzionale delle fessure viene calcolata con le modalità indicate nel vigente D.M. LL.PP. relativo alle "Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso, e per le strutture metalliche" (D.M. 9/01/1996), e valutata con le sollecitazioni relative alle Combinazioni FI, FII ed FIII della normativa sui ponti stradali (D.M. 4/05/1990).

In particolare, le verifiche a fessurazione sono state condotte seguendo i due passaggi riportati nel seguito.

### a) Combinazione FII

Apertura teorica delle fessure in ambiente aggressivo:  $w = 0.2 \text{ mm}$

Apertura teorica delle fessure in ambiente normale:  $w = 0.3 \text{ mm}$

**b) Combinazione FI, FIII**

Apertura teorica delle fessure in ambiente aggressivo:  $w = 0.1 \text{ mm}$

Apertura teorica delle fessure in ambiente normale:  $w = 0.2 \text{ mm}$

I valori di  $w$  sopra riportati costituiscono le aperture ammissibili nel caso in cui il ricoprimento dell'armatura di forza ( $c$ ) sia uguale al valore minimo di Normativa ( $c_{\min}$ ). Nel caso in oggetto il ricoprimento minimo effettivo delle armature di forza è almeno  $c=6.00\text{cm}$ , il ricoprimento minimo di Normativa è  $c_{\min}=4.0\text{cm}$ , quindi  $c/c_{\min}=1.5$ .

Pertanto le aperture ammissibili risulteranno rispettivamente:

**a) Combinazione FII**

Apertura teorica delle fessure in ambiente aggressivo:  $w_{\text{amm}} = 1.5 \cdot 0.2 = 0.3 \text{ mm}$

Apertura teorica delle fessure in ambiente normale:  $w_{\text{amm}} = 1.5 \cdot 0.3 = 0.45 \text{ mm}$

**b) Combinazione FI, FIII**

Apertura teorica delle fessure in ambiente aggressivo:  $w_{\text{amm}} = 1.5 \cdot 0.1 = 0.15 \text{ mm}$

Apertura teorica delle fessure in ambiente normale:  $w_{\text{amm}} = 1.5 \cdot 0.2 = 0.3 \text{ mm}$

Verifica delle tensioni di esercizio: si eseguono per la condizione di carico Quasi Permanente e Rara, verificando rispettivamente che le tensioni di lavoro siano inferiori ai seguenti limiti:

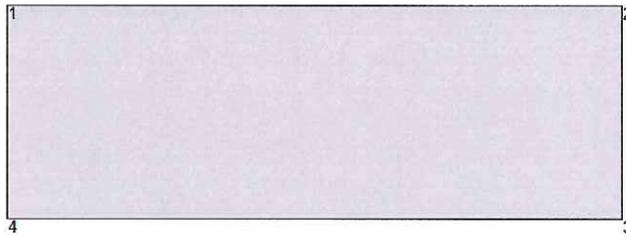
per la condizione QP si verifica che le massime tensioni presenti nel calcestruzzo siano inferiori a  $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ ;

per la condizione rara si verifica che le massime tensioni presenti nel calcestruzzo siano inferiori a  $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ , mentre quelle dell'acciaio  $\sigma_s < 0.70 f_{yk}$

## 9.1 SOLETTA SUPERIORE

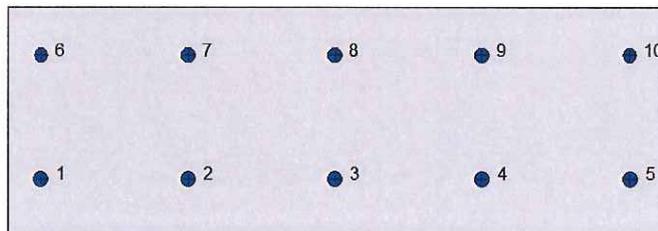
### 9.1.1 ATTACCO PIEDRITTO (ASTA 9)

#### 9.1.1.1 Verifiche a Presso-Flessione



#### Geometria della sezione:

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	35,0
2	100,0	35,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0



#### Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	5,0	8,5	3,8	no
2	27,5	8,5	3,8	no
3	50,0	8,5	3,8	no
4	72,5	8,5	3,8	no
5	95,0	8,5	3,8	no

6	5,0	27,6	3,1	no
7	27,5	27,6	3,1	no
8	50,0	27,6	3,1	no
9	72,5	27,6	3,1	no
10	95,0	27,6	3,1	no

**Normativa di riferimento:**

D.M. 09/01/1996 - 'Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente moderatamente aggressivo

**Materiali:**

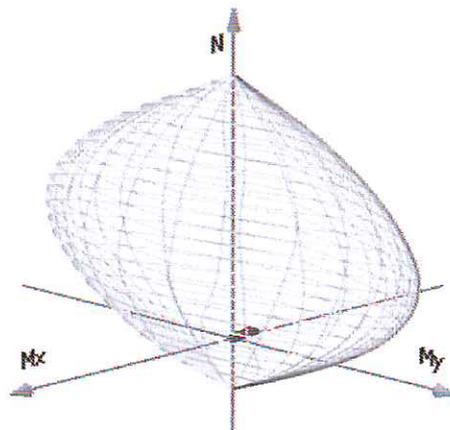
**Calcestruzzo classe: C28/35**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 350 daN/cm<sup>2</sup>  
 fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 290 daN/cm<sup>2</sup>  
 fctm (resistenza a trazione media) = 29 daN/cm<sup>2</sup>  
 G (modulo di elasticità tangenziale) = 150545 daN/cm<sup>2</sup>  
 E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 337220 daN/cm<sup>2</sup>  
 C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12  
 Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050  
 Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: B450C**

fyk (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm<sup>2</sup>  
 fkt (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_{uk}$  (deformazione di rottura) = 0.075  
 G (modulo di elasticità tangenziale) = 770000 daN/cm<sup>2</sup>  
 E (modulo elastico) = 2000000 daN/cm<sup>2</sup>  
 C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30  
 Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012  
 Peso specifico = 7850 daN/mc

**Dominio SLU:**



**Caratteristiche limite della sezione:**

Nu	Mxu	Myu	Stato Sez.
kN	kN m	kN m	
-1358,4	4,9	0,0	Completamente tesa
7110,1	-4,9	0,0	Completamente compressa
0,0	182,6	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-168,7	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	573,1	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-573,1	Fibre di destra tese

**Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per Mxu, Myu e Nu proporzionali (sigla verifica: P)

Verifica con rapporto Mxu, Myu assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con Nu costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1-4,1	-11,2	0,0	P	-59,0	-162,5	0,0	0,070	OK
			M	-1263,7	-11,1	0,0	0,000	
			N	-4,1	-168,3	0,0	0,070	
2-5,3	-2,3	0,0	P	-309,1	-135,3	0,0	0,020	OK
			M	-1316,5	-2,3	0,0	0,000	
			N	-5,3	-168,1	0,0	0,010	
3-4,1	-11,2	0,0	P	-59,0	-162,5	0,0	0,070	OK
			M	-1263,7	-11,1	0,0	0,000	
			N	-4,1	-168,3	0,0	0,070	
4-5,3	-2,3	0,0	P	-309,1	-135,3	0,0	0,020	OK
			M	-1316,5	-2,3	0,0	0,000	
			N	-5,3	-168,1	0,0	0,010	
563,8	-109,1	0,0	P	105,0	-179,6	0,0	0,610	OK
			M	6222,9	-109,0	0,0	0,010	
			N	63,8	-175,4	0,0	0,620	
665,5	-103,3	0,0	P	114,5	-180,5	0,0	0,570	OK
			M	6271,1	-103,2	0,0	0,010	
			N	65,5	-175,6	0,0	0,590	
768,4	-113,8	0,0	P	108,1	-179,9	0,0	0,630	OK
			M	6183,9	-113,7	0,0	0,010	
			N	68,4	-175,9	0,0	0,650	
842,9	-81,3	0,0	P	94,2	-178,5	0,0	0,450	OK
			M	6454,4	-81,2	0,0	0,010	
			N	42,9	-173,2	0,0	0,470	
944,7	-75,5	0,0	P	106,3	-179,7	0,0	0,420	OK
			M	6503,1	-75,4	0,0	0,010	
			N	44,7	-173,4	0,0	0,430	
1047,5	-86,0	0,0	P	98,9	-179,0	0,0	0,480	OK
			M	6415,0	-85,9	0,0	0,010	
			N	47,5	-173,7	0,0	0,490	
1112,7	-23,7	0,0	P	95,7	-178,7	0,0	0,130	OK
			M	6942,1	-23,7	0,0	0,000	
			N	12,7	-170,0	0,0	0,140	
1211,4	-14,9	0,0	P	140,7	-183,1	0,0	0,080	OK
			M	7019,7	-14,8	0,0	0,000	
			N	11,4	-169,9	0,0	0,090	
1312,7	-23,7	0,0	P	95,7	-178,7	0,0	0,130	OK

			M	6942,1	-23,7	0,0	0,000	
			N	12,7	-170,0	0,0	0,140	
1411,4	-14,9	0,0	P	140,7	-183,1	0,0	0,080	OK
			M	7019,7	-14,8	0,0	0,000	
			N	11,4	-169,9	0,0	0,090	
1554,6	-98,2	0,0	P	99,7	-179,1	0,0	0,550	OK
			M	6313,6	-98,1	0,0	0,010	
			N	54,7	-174,4	0,0	0,560	
1656,4	-92,4	0,0	P	109,9	-180,1	0,0	0,510	OK
			M	6362,3	-92,3	0,0	0,010	
			N	56,4	-174,6	0,0	0,530	
1759,3	-102,9	0,0	P	103,4	-179,4	0,0	0,570	OK
			M	6274,4	-102,8	0,0	0,010	
			N	59,3	-174,9	0,0	0,590	
1833,8	-70,4	0,0	P	85,2	-177,6	0,0	0,400	OK
			M	6545,7	-70,3	0,0	0,000	
			N	33,8	-172,3	0,0	0,410	
1935,5	-64,6	0,0	P	98,4	-178,9	0,0	0,360	OK
			M	6594,6	-64,5	0,0	0,000	
			N	35,5	-172,4	0,0	0,370	
2038,4	-75,1	0,0	P	91,2	-178,2	0,0	0,420	OK
			M	6506,3	-75,0	0,0	0,010	
			N	38,4	-172,7	0,0	0,430	
2154,6	-98,2	0,0	P	99,7	-179,1	0,0	0,550	OK
			M	6313,6	-98,1	0,0	0,010	
			N	54,7	-174,4	0,0	0,560	
2233,8	-70,4	0,0	P	85,2	-177,6	0,0	0,400	OK
			M	6545,7	-70,3	0,0	0,000	
			N	33,8	-172,3	0,0	0,410	
2346,5	-39,2	0,0	P	227,9	-191,8	0,0	0,200	OK
			M	6809,7	-39,1	0,0	0,010	
			N	46,5	-173,6	0,0	0,230	
2425,7	-11,4	0,0	P	491,0	-217,6	0,0	0,050	OK
			M	7050,8	-11,3	0,0	0,000	
			N	25,7	-171,4	0,0	0,070	
2553,8	-84,7	0,0	P	114,7	-180,6	0,0	0,470	OK
			M	6426,5	-84,6	0,0	0,010	
			N	53,8	-174,3	0,0	0,480	
2655,5	-78,8	0,0	P	128,0	-181,9	0,0	0,430	OK
			M	6475,3	-78,7	0,0	0,010	
			N	55,5	-174,5	0,0	0,450	
2733,8	-70,4	0,0	P	85,2	-177,6	0,0	0,400	OK
			M	6545,7	-70,3	0,0	0,000	
			N	33,8	-172,3	0,0	0,410	
2835,5	-64,6	0,0	P	98,4	-178,9	0,0	0,360	OK
			M	6594,6	-64,5	0,0	0,000	
			N	35,5	-172,4	0,0	0,370	
2944,0	-45,2	0,0	P	182,5	-187,3	0,0	0,240	OK
			M	6758,6	-45,1	0,0	0,010	
			N	44,0	-173,3	0,0	0,260	
3083,8	-91,8	0,0	P	169,8	-186,0	0,0	0,490	OK
			M	6366,9	-91,7	0,0	0,010	
			N	83,8	-177,5	0,0	0,520	
3188,6	-83,9	0,0	P	199,4	-189,0	0,0	0,440	OK
			M	6432,6	-83,8	0,0	0,010	
			N	88,6	-178,0	0,0	0,470	
3293,1	-93,1	0,0	P	187,7	-187,8	0,0	0,500	OK

			M	6355,8	-93,0	0,0	0,010	
			N	93,0	-178,4	0,0	0,520	
3344,0	-45,2	0,0	P	182,5	-187,3	0,0	0,240	OK
			M	6758,6	-45,1	0,0	0,010	
			N	44,0	-173,3	0,0	0,260	
7530,1	-19,7	0,0	P	304,9	-199,4	0,0	0,100	OK
			M	6977,6	-19,6	0,0	0,000	
			N	30,1	-171,9	0,0	0,110	
7662,4	-78,7	0,0	P	145,7	-183,6	0,0	0,430	OK
			M	6476,6	-78,6	0,0	0,010	
			N	62,4	-175,2	0,0	0,450	
7728,4	-17,5	0,0	P	327,7	-201,6	0,0	0,090	OK
			M	6996,6	-17,4	0,0	0,000	
			N	28,4	-171,7	0,0	0,100	
7854,8	-69,6	0,0	P	144,6	-183,5	0,0	0,380	OK
			M	6552,6	-69,5	0,0	0,010	
			N	54,8	-174,5	0,0	0,400	
7944,2	-35,1	0,0	P	243,4	-193,3	0,0	0,180	OK
			M	6844,1	-35,0	0,0	0,010	
			N	44,2	-173,4	0,0	0,200	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
768,4	-113,8	0,0	P	108,1	-179,9	0,0	0,630	OK
563,8	-109,1	0,0	M	6222,9	-109,0	0,0	0,010	OK
768,4	-113,8	0,0	N	68,4	-175,9	0,0	0,650	OK

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:**

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS:  $\sigma_{cL} = 17400,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_{aL} = 315000,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	$\sigma_a$	$\sigma_a/\sigma_{aL}$
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
46 OK	-4,3	0,0	2,2	-371,1	0,02	10582,8	0,03
47 OK	1,6	0,0	1,3	-133,3	0,01	3272,4	0,01
48 OK	-4,3	0,0	2,2	-371,1	0,02	10582,8	0,03
49 OK	1,6	0,0	1,3	-133,3	0,01	3272,4	0,01
50 OK	-74,7	0,0	47,6	-6428,4	0,37	180175,3	0,57
51 OK	-70,8	0,0	48,8	-6092,8	0,35	169658,1	0,54
52 OK	-77,9	0,0	50,7	-6698,1	0,38	187401,9	0,59
53 OK	-56,2	0,0	33,7	-4835,9	0,28	136184,0	0,43
54 OK	-52,3	0,0	34,9	-4500,3	0,26	125666,1	0,40
55 OK	-59,3	0,0	36,8	-5105,6	0,29	143410,4	0,46
56 OK	-11,6	0,0	8,2	-996,0	0,06	27650,7	0,09
57 OK	-5,7	0,0	7,4	-486,5	0,03	12500,8	0,04
58 OK	-11,6	0,0	8,2	-996,0	0,06	27650,7	0,09
59 OK	-5,7	0,0	7,4	-486,5	0,03	12500,8	0,04
60 OK	-65,6	0,0	40,0	-5647,1	0,32	158834,0	0,50
61 OK	-61,7	0,0	41,2	-5311,6	0,31	148316,1	0,47
62 OK	-68,8	0,0	43,1	-5916,8	0,34	166060,4	0,53
63 OK	-47,1	0,0	26,1	-4054,5	0,23	114843,4	0,36

64	OK	-43,2	0,0	27,3	-3719,0	0,21	104324,5	0,33
65	OK	-50,2	0,0	29,2	-4324,2	0,25	122069,4	0,39
66	OK	-65,6	0,0	40,0	-5647,1	0,32	158834,0	0,50
67	OK	-47,1	0,0	26,1	-4054,5	0,23	114843,4	0,36
68	OK	-23,6	0,0	30,8	-2018,7	0,12	51841,4	0,16
69	OK	-5,0	0,0	16,9	-421,5	0,02	7968,7	0,03

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:**

Valori limite:

Fessure:  $WkL = 0,30$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL	
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm		
34	OK	-5,4	0,0	7,2	0.01	0,04
35	OK	-4,5	0,0	11,4	0.01	0,03
36	OK	-56,2	0,0	33,7	0.14	0,48
37	OK	-52,3	0,0	34,9	0.13	0,44
38	OK	-59,3	0,0	36,8	0.15	0,50
44	OK	-53,3	0,0	32,2	0.14	0,45
45	OK	-5,0	0,0	16,9	0.01	0,03

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 13050,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Fessure:  $WkL = 0,15$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	Wk	Wk/WkL	
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm		
39	OK	-11,0	0,0	14,3	-938,7	0,07	0,03	0,17
40	OK	-6,8	0,0	13,7	-581,1	0,04	0,01	0,09
41	OK	-42,7	0,0	24,7	-3672,7	0,28	0,11	0,73
42	OK	-40,0	0,0	25,5	-3438,4	0,26	0,10	0,68
43	OK	-44,9	0,0	26,8	-3861,7	0,30	0,11	0,76
70	OK	6,3	0,0	5,6	-530,4	0,04	0,01	0,10
71	OK	-41,4	0,0	29,0	-3563,6	0,27	0,10	0,69
72	OK	-2,8	0,0	13,2	-223,9	0,02	0,00	0,02
73	OK	-32,3	0,0	21,4	-2782,3	0,21	0,08	0,54
74	OK	1,1	0,0	10,8	-84,6	0,01	0,00	0,00

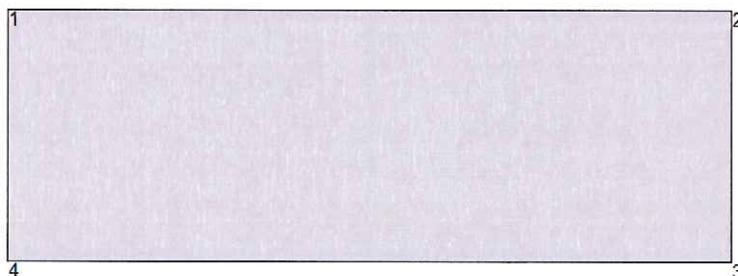
### 9.1.1.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

$V_{sdu}$	231.1	kN
$M_{sdu}$	113.8	kNm
$N_{sdu}$	68.404	kN
$M_0$	4.067	kNm
$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	27.6	cm
$\delta$	1.036	
$r$	1.324	m
$A_{sl}$	15.7	cm <sup>2</sup>
$c$	8.4	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$A_{sw}$	2.82	cm <sup>2</sup>
passo staffe	20	cm
$f_{cd}$	18.156	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd}$	1.263	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\rho$	0.0057	
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$VR_{d1}$	153.446	kN
$VR_{d2}$	1503.338	kN
$A_{sw,min}$	3.90	cm <sup>2</sup>
passo staffe, max	30.0	cm
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
$VR_{d2}$	1503.338	kN
$V_{cd}$	216.557	kN
$V_{wd,min}$	14.543	kN
$V_{wd}$	137.052	kN
$VR_{d3}$	353.609	kN

La verifica è soddisfatta considerando armatura a taglio  $\Phi 12/(20 \times 40)$ .

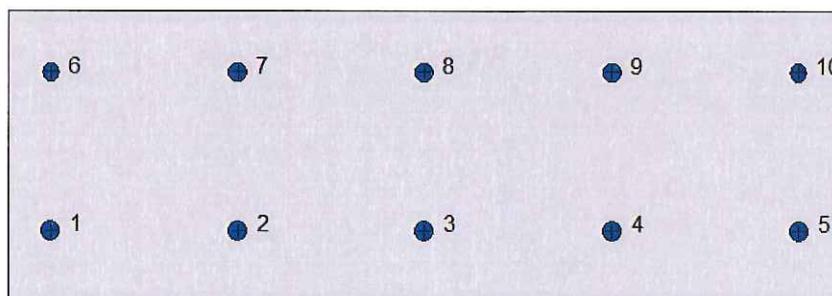
## 9.1.2 MEZZERIA (ASTA 12)

### 9.1.2.1 Verifiche a Presso-Flessione



**Geometria della sezione:**

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	35,0
2	100,0	35,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0



**Armature:**

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	5,0	8,5	3,8	no
2	27,5	8,5	3,8	no
3	50,0	8,5	3,8	no
4	72,5	8,5	3,8	no
5	95,0	8,5	3,8	no
6	5,0	27,6	3,1	no

7	27,5	27,6	3,1	no
8	50,0	27,6	3,1	no
9	72,5	27,6	3,1	no
10	95,0	27,6	3,1	no

**Normativa di riferimento:**

D.M. 09/01/1996 - 'Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente poco aggressivo

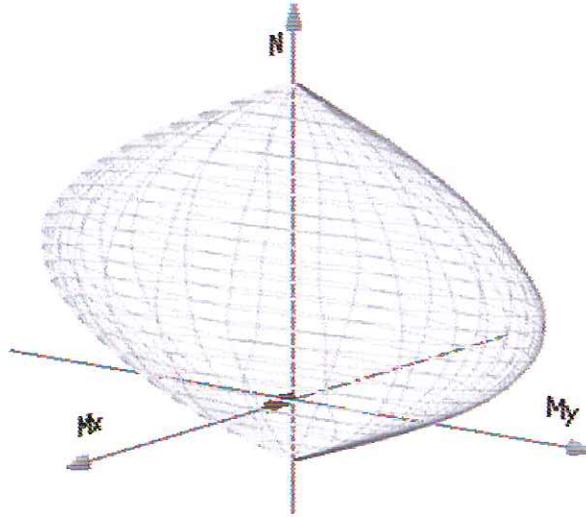
**Materiali:****Calcestruzzo classe: C28/35**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 350 daN/cm<sup>2</sup>  
fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 290 daN/cm<sup>2</sup>  
fctm (resistenza a trazione media) = 29 daN/cm<sup>2</sup>  
G (modulo di elasticità tangenziale) = 150545 daN/cm<sup>2</sup>  
E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 337220 daN/cm<sup>2</sup>  
C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12  
Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050  
Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: B450C**

f<sub>yk</sub> (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm<sup>2</sup>  
f<sub>kt</sub> (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>  
ε<sub>uk</sub> (deformazione di rottura) = 0.075  
G (modulo di elasticità tangenziale) = 770000 daN/cm<sup>2</sup>  
E (modulo elastico) = 2000000 daN/cm<sup>2</sup>  
C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30  
Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012  
Peso specifico = 7850 daN/mc

Dominio SLU:



**Caratteristiche limite della sezione:**

Nu	Mxu	Myu	Stato Sez.
kN	kN m	kN m	
-1358,4	4,9	0,0	Completamente tesa
7110,1	-4,9	0,0	Completamente compressa
0,0	182,6	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-168,7	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	573,1	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-573,1	Fibre di destra tese

**Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per Mxu, Myu e Nu proporzionali (sigla verifica: P)

Verifica con rapporto Mxu, Myu assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con Nu costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1-4,1	139,0	0,0	P	-5,3	182,1	0,0	0,760	OK
			M	-375,2	139,0	0,0	0,010	
			N	-4,1	182,2	0,0	0,760	
2-5,3	113,7	0,0	P	-8,5	181,7	0,0	0,630	OK
			M	-581,5	113,7	0,0	0,010	
			N	-5,3	182,0	0,0	0,620	
3-4,1	139,0	0,0	P	-5,3	182,1	0,0	0,760	OK
			M	-375,2	139,0	0,0	0,010	
			N	-4,1	182,2	0,0	0,760	
4-5,3	113,7	0,0	P	-8,5	181,7	0,0	0,630	OK
			M	-581,5	113,7	0,0	0,010	
			N	-5,3	182,0	0,0	0,620	
542,9	83,3	0,0	P	99,9	193,8	0,0	0,430	OK
			M	6327,5	83,2	0,0	0,010	
			N	42,9	187,5	0,0	0,440	
644,7	57,4	0,0	P	155,3	199,7	0,0	0,290	OK
			M	6549,3	57,4	0,0	0,010	
			N	44,7	187,7	0,0	0,310	
747,5	82,6	0,0	P	112,3	195,1	0,0	0,420	OK

			M	6333,1	82,5	0,0	0,010	
			N	47,6	188,0	0,0	0,440	
842,9	83,3	0,0	P	99,9	193,8	0,0	0,430	OK
			M	6327,5	83,2	0,0	0,010	
			N	42,9	187,5	0,0	0,440	
944,7	57,4	0,0	P	155,3	199,7	0,0	0,290	OK
			M	6549,3	57,4	0,0	0,010	
			N	44,7	187,7	0,0	0,310	
1047,5	82,6	0,0	P	112,3	195,1	0,0	0,420	OK
			M	6333,1	82,5	0,0	0,010	
			N	47,6	188,0	0,0	0,440	
1112,7	126,5	0,0	P	18,5	184,7	0,0	0,680	OK
			M	5960,4	126,4	0,0	0,000	
			N	12,7	184,1	0,0	0,690	
1211,4	101,2	0,0	P	20,9	185,0	0,0	0,550	OK
			M	6174,7	101,1	0,0	0,000	
			N	11,4	183,9	0,0	0,550	
1312,7	126,5	0,0	P	18,5	184,7	0,0	0,680	OK
			M	5960,4	126,4	0,0	0,000	
			N	12,7	184,1	0,0	0,690	
1411,4	101,2	0,0	P	20,9	185,0	0,0	0,550	OK
			M	6174,7	101,1	0,0	0,000	
			N	11,4	183,9	0,0	0,550	
1533,8	94,2	0,0	P	68,3	190,3	0,0	0,490	OK
			M	6234,4	94,1	0,0	0,000	
			N	33,8	186,4	0,0	0,500	
1635,5	68,3	0,0	P	100,8	193,9	0,0	0,350	OK
			M	6455,3	68,3	0,0	0,000	
			N	35,5	186,6	0,0	0,370	
1738,4	93,5	0,0	P	78,6	191,4	0,0	0,490	OK
			M	6240,0	93,4	0,0	0,010	
			N	38,4	187,0	0,0	0,500	
1833,8	94,2	0,0	P	68,3	190,3	0,0	0,490	OK
			M	6234,4	94,1	0,0	0,000	
			N	33,8	186,4	0,0	0,500	
1935,5	68,3	0,0	P	100,8	193,9	0,0	0,350	OK
			M	6455,3	68,3	0,0	0,000	
			N	35,5	186,6	0,0	0,370	
2038,4	93,5	0,0	P	78,6	191,4	0,0	0,490	OK
			M	6240,0	93,4	0,0	0,010	
			N	38,4	187,0	0,0	0,500	
2133,8	94,2	0,0	P	68,3	190,3	0,0	0,490	OK
			M	6234,4	94,1	0,0	0,000	
			N	33,8	186,4	0,0	0,500	
2233,8	94,2	0,0	P	68,3	190,3	0,0	0,490	OK
			M	6234,4	94,1	0,0	0,000	
			N	33,8	186,4	0,0	0,500	
2325,7	61,9	0,0	P	79,5	191,5	0,0	0,320	OK
			M	6510,8	61,8	0,0	0,000	
			N	25,7	185,5	0,0	0,330	
2425,7	61,9	0,0	P	79,5	191,5	0,0	0,320	OK
			M	6510,8	61,8	0,0	0,000	
			N	25,7	185,5	0,0	0,330	
2532,9	107,7	0,0	P	57,8	189,1	0,0	0,570	OK
			M	6119,4	107,6	0,0	0,000	
			N	32,9	186,3	0,0	0,580	
2634,6	81,9	0,0	P	81,1	191,7	0,0	0,430	OK

			M	6339,4	81,8	0,0	0,000	
			N	34,6	186,5	0,0	0,440	
2733,8	94,2	0,0	P	68,3	190,3	0,0	0,490	OK
			M	6234,4	94,1	0,0	0,000	
			N	33,8	186,4	0,0	0,500	
2835,5	68,3	0,0	P	100,8	193,9	0,0	0,350	OK
			M	6455,3	68,3	0,0	0,000	
			N	35,5	186,6	0,0	0,370	
2923,1	83,3	0,0	P	52,4	188,5	0,0	0,440	OK
			M	6327,2	83,2	0,0	0,000	
			N	23,1	185,2	0,0	0,450	
3062,9	58,8	0,0	P	221,6	206,9	0,0	0,280	OK
			M	6537,7	58,7	0,0	0,010	
			N	62,9	189,7	0,0	0,310	
3167,7	32,4	0,0	P	491,0	235,3	0,0	0,140	OK
			M	6767,1	32,4	0,0	0,010	
			N	67,7	190,2	0,0	0,170	
3272,2	57,5	0,0	P	265,9	211,6	0,0	0,270	OK
			M	6549,0	57,4	0,0	0,010	
			N	72,2	190,7	0,0	0,300	
3323,1	83,3	0,0	P	52,4	188,5	0,0	0,440	OK
			M	6327,2	83,2	0,0	0,000	
			N	23,1	185,2	0,0	0,450	
7524,8	53,6	0,0	P	89,0	192,6	0,0	0,280	OK
			M	6582,7	53,5	0,0	0,000	
			N	24,8	185,4	0,0	0,290	
7644,6	17,2	0,0	P	652,9	251,8	0,0	0,070	OK
			M	6902,7	17,1	0,0	0,010	
			N	44,6	187,7	0,0	0,090	
7723,1	55,7	0,0	P	79,4	191,5	0,0	0,290	OK
			M	6564,0	55,7	0,0	0,000	
			N	23,1	185,2	0,0	0,300	
7837,0	26,3	0,0	P	303,4	215,6	0,0	0,120	OK
			M	6821,5	26,2	0,0	0,000	
			N	37,0	186,8	0,0	0,140	
7926,4	56,7	0,0	P	89,7	192,7	0,0	0,290	OK
			M	6555,3	56,7	0,0	0,000	
			N	26,4	185,6	0,0	0,310	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1-4,1	139,0	0,0	P	-5,3	182,1	0,0	0,760	OK
1-4,1	139,0	0,0	M	-375,2	139,0	0,0	0,010	OK
1-4,1	139,0	0,0	N	-4,1	182,2	0,0	0,760	OK

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:**

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS:  $\sigma_{cL} = 17400,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_{aL} = 315000,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	$\sigma_a$	$\sigma_a/\sigma_{aL}$
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	

46	OK	95,8	0,0	2,2	-8036,0	0,46	219002,4	0,70
47	OK	78,9	0,0	1,3	-6618,1	0,38	180497,9	0,57
48	OK	95,8	0,0	2,2	-8036,0	0,46	219002,4	0,70
49	OK	78,9	0,0	1,3	-6618,1	0,38	180497,9	0,57
50	OK	50,8	0,0	33,7	-4257,1	0,24	106749,2	0,34
51	OK	33,6	0,0	34,9	-2810,0	0,16	66974,6	0,21
52	OK	50,4	0,0	36,8	-4219,6	0,24	104864,5	0,33
53	OK	50,8	0,0	33,7	-4257,1	0,24	106749,2	0,34
54	OK	33,6	0,0	34,9	-2810,0	0,16	66974,6	0,21
55	OK	50,4	0,0	36,8	-4219,6	0,24	104864,5	0,33
56	OK	88,6	0,0	8,2	-7426,6	0,43	200588,0	0,64
57	OK	71,7	0,0	7,4	-6008,7	0,35	162083,6	0,51
58	OK	88,6	0,0	8,2	-7426,6	0,43	200588,0	0,64
59	OK	71,7	0,0	7,4	-6008,7	0,35	162083,6	0,51
60	OK	59,9	0,0	26,1	-5020,9	0,29	129743,3	0,41
61	OK	42,7	0,0	27,3	-3575,2	0,21	89943,3	0,29
62	OK	59,5	0,0	29,2	-4983,6	0,29	127853,7	0,41
63	OK	59,9	0,0	26,1	-5020,9	0,29	129743,3	0,41
64	OK	42,7	0,0	27,3	-3575,2	0,21	89943,3	0,29
65	OK	59,5	0,0	29,2	-4983,6	0,29	127853,7	0,41
66	OK	59,9	0,0	26,1	-5020,9	0,29	129743,3	0,41
67	OK	59,9	0,0	26,1	-5020,9	0,29	129743,3	0,41
68	OK	59,3	0,0	16,9	-4974,6	0,29	131104,4	0,42
69	OK	59,3	0,0	16,9	-4974,6	0,29	131104,4	0,42

#### Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure:  $WkL = 0,45$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL	
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm		
34	OK	94,8	0,0	7,2	0,30	0,67
35	OK	77,0	0,0	11,4	0,20	0,43
36	OK	50,8	0,0	33,7	0,12	0,27
37	OK	33,6	0,0	34,9	0,08	0,17
38	OK	50,4	0,0	36,8	0,12	0,26
44	OK	59,0	0,0	32,2	0,14	0,32
45	OK	59,3	0,0	16,9	0,15	0,33

#### Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 13050,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Fessure:  $WkL = 0,30$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

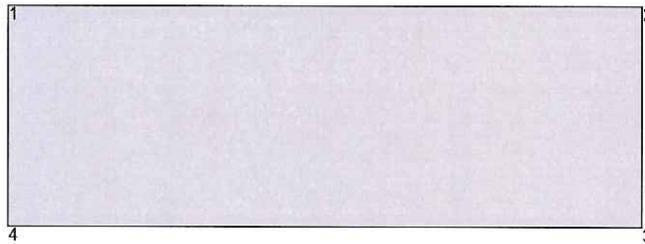
Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	Wk	Wk/WkL	
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm		
39	OK	75,6	0,0	14,3	-6338,2	0,49	0,29	0,95
40	OK	63,8	0,0	13,7	-5346,2	0,41	0,17	0,58
41	OK	50,0	0,0	24,7	-4188,1	0,32	0,12	0,40
42	OK	37,9	0,0	25,5	-3176,0	0,24	0,09	0,30

43	OK	49,7	0,0	26,8	-4161,8	0,32	0,12	0,40
70	OK	61,2	0,0	5,6	-5129,9	0,39	0,16	0,52
71	OK	17,7	0,0	29,0	-1477,9	0,11	0,04	0,12
72	OK	52,1	0,0	13,2	-4367,7	0,33	0,13	0,43
73	OK	26,8	0,0	21,4	-2245,1	0,17	0,06	0,21
74	OK	60,3	0,0	10,8	-5052,8	0,39	0,15	0,51

## 9.2 SOLETTA DI FONDAZIONE

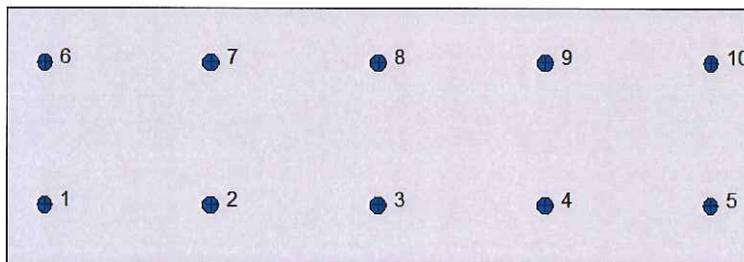
### 9.2.1 ATTACCO PIEDRITTO (ASTA 11)

#### 9.2.1.1 Verifiche a Presso-Flessione



#### Geometria della sezione:

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	35,0
2	100,0	35,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0



#### Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	5,0	8,4	3,1	no
2	27,5	8,4	3,1	no
3	50,0	8,4	3,1	no

4	72,5	8,4	3,1	no
5	95,0	8,4	3,1	no
6	5,0	27,6	3,1	no
7	27,5	27,6	3,1	no
8	50,0	27,6	3,1	no
9	72,5	27,6	3,1	no
10	95,0	27,6	3,1	no

**Normativa di riferimento:**

D.M. 09/01/1996 - 'Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente moderatamente aggressivo

**Materiali:****Calcestruzzo classe: C28/35**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 350 daN/cm<sup>2</sup>

fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 290 daN/cm<sup>2</sup>

fctm (resistenza a trazione media) = 29 daN/cm<sup>2</sup>

G (modulo di elasticità tangenziale) = 150545 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 337220 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050

Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: B450C**

fyk (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm<sup>2</sup>

fkt (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>

ε<sub>uk</sub> (deformazione di rottura) = 0.075

G (modulo di elasticità tangenziale) = 770000 daN/cm<sup>2</sup>

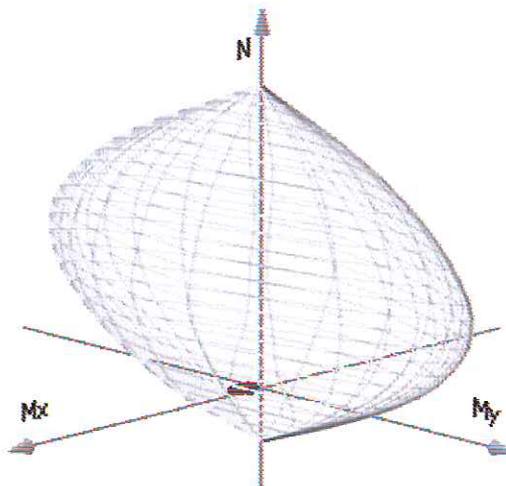
E (modulo elastico) = 2000000 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012

Peso specifico = 7850 daN/mc

Dominio SLU:


**Caratteristiche limite della sezione:**

Nu	Mxu	Myu	Stato Sez.
kN	kN m	kN m	
-1229,3	-6,1	0,0	Completamente tesa
6981,0	6,1	0,0	Completamente compressa
0,0	156,9	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-167,3	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	522,9	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-522,9	Fibre di destra tese

**Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per Mxu, Myu e Nu proporzionali (sigla verifica: P)

Verifica con rapporto Mxu, Myu assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con Nu costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
125,0	63,7	0,0	P	64,4	164,3	0,0	0,390	OK
			M	6470,8	63,6	0,0	0,000	
			N	25,0	159,8	0,0	0,400	
226,2	51,8	0,0	P	84,4	166,6	0,0	0,310	OK
			M	6572,9	51,7	0,0	0,000	
			N	26,2	159,9	0,0	0,320	
325,0	63,7	0,0	P	64,4	164,3	0,0	0,390	OK
			M	6470,8	63,6	0,0	0,000	
			N	25,0	159,8	0,0	0,400	
426,2	51,8	0,0	P	84,4	166,6	0,0	0,310	OK
			M	6572,9	51,7	0,0	0,000	
			N	26,2	159,9	0,0	0,320	
596,7	122,7	0,0	P	135,8	172,4	0,0	0,710	OK
			M	5972,2	122,6	0,0	0,020	
			N	96,7	168,0	0,0	0,730	
6105,6	115,1	0,0	P	160,7	175,2	0,0	0,660	OK
			M	6036,0	115,0	0,0	0,020	
			N	105,6	169,0	0,0	0,680	
7105,8	129,0	0,0	P	141,9	173,1	0,0	0,740	OK
			M	5919,5	128,9	0,0	0,020	

			N	105,8	169,0	0,0	0,760	
876,7	96,0	0,0	P	138,0	172,6	0,0	0,560	OK
			M	6197,0	95,9	0,0	0,010	
			N	76,7	165,7	0,0	0,580	
985,7	88,4	0,0	P	170,9	176,3	0,0	0,500	OK
			M	6261,3	88,3	0,0	0,010	
			N	85,7	166,7	0,0	0,530	
1085,9	102,3	0,0	P	145,7	173,5	0,0	0,590	OK
			M	6143,8	102,2	0,0	0,010	
			N	85,9	166,7	0,0	0,610	
1138,2	59,8	0,0	P	108,0	169,2	0,0	0,350	OK
			M	6504,2	59,7	0,0	0,010	
			N	38,2	161,3	0,0	0,370	
1239,5	47,9	0,0	P	142,6	173,1	0,0	0,280	OK
			M	6606,8	47,8	0,0	0,010	
			N	39,5	161,5	0,0	0,300	
1338,2	59,8	0,0	P	108,0	169,2	0,0	0,350	OK
			M	6504,2	59,7	0,0	0,010	
			N	38,2	161,3	0,0	0,370	
1439,5	47,9	0,0	P	142,6	173,1	0,0	0,280	OK
			M	6606,8	47,8	0,0	0,010	
			N	39,5	161,5	0,0	0,300	
15105,8	133,2	0,0	P	137,0	172,5	0,0	0,770	OK
			M	5884,4	133,1	0,0	0,020	
			N	105,8	169,0	0,0	0,790	
16114,7	125,6	0,0	P	159,9	175,1	0,0	0,720	OK
			M	5947,8	125,5	0,0	0,020	
			N	114,7	170,0	0,0	0,740	
17114,9	139,5	0,0	P	142,6	173,1	0,0	0,810	OK
			M	5831,7	139,4	0,0	0,020	
			N	114,9	170,0	0,0	0,820	
1885,9	106,5	0,0	P	139,3	172,8	0,0	0,620	OK
			M	6108,4	106,4	0,0	0,010	
			N	85,9	166,7	0,0	0,640	
1994,8	98,9	0,0	P	168,8	176,1	0,0	0,560	OK
			M	6172,5	98,8	0,0	0,010	
			N	94,8	167,7	0,0	0,590	
2095,0	112,8	0,0	P	146,2	173,5	0,0	0,650	OK
			M	6055,4	112,7	0,0	0,020	
			N	95,0	167,8	0,0	0,670	
21105,8	133,2	0,0	P	137,0	172,5	0,0	0,770	OK
			M	5884,4	133,1	0,0	0,020	
			N	105,8	169,0	0,0	0,790	
2285,9	106,5	0,0	P	139,3	172,8	0,0	0,620	OK
			M	6108,4	106,4	0,0	0,010	
			N	85,9	166,7	0,0	0,640	
23127,6	91,9	0,0	P	258,1	185,9	0,0	0,490	OK
			M	6231,4	91,8	0,0	0,020	
			N	127,6	171,5	0,0	0,540	
24107,7	65,1	0,0	P	318,0	192,4	0,0	0,340	OK
			M	6458,6	65,1	0,0	0,020	
			N	107,7	169,2	0,0	0,380	
25106,7	121,8	0,0	P	152,7	174,3	0,0	0,700	OK
			M	5979,8	121,7	0,0	0,020	
			N	106,7	169,1	0,0	0,720	
26115,6	114,3	0,0	P	179,3	177,2	0,0	0,640	OK
			M	6042,8	114,2	0,0	0,020	

			N	115,6	170,1	0,0	0,670	
2785,9	106,5	0,0	P	139,3	172,8	0,0	0,620	OK
			M	6108,4	106,4	0,0	0,010	
			N	85,9	166,7	0,0	0,640	
2894,8	98,9	0,0	P	168,8	176,1	0,0	0,560	OK
			M	6172,5	98,8	0,0	0,010	
			N	94,8	167,7	0,0	0,590	
29130,2	105,7	0,0	P	224,5	182,3	0,0	0,580	OK
			M	6115,1	105,6	0,0	0,020	
			N	130,2	171,7	0,0	0,610	
3085,4	89,0	0,0	P	168,8	176,1	0,0	0,510	OK
			M	6255,7	89,0	0,0	0,010	
			N	85,4	166,7	0,0	0,530	
3192,6	78,1	0,0	P	215,1	181,2	0,0	0,430	OK
			M	6348,8	78,0	0,0	0,010	
			N	92,6	167,5	0,0	0,470	
3291,6	90,2	0,0	P	180,3	177,4	0,0	0,510	OK
			M	6246,2	90,1	0,0	0,010	
			N	91,6	167,4	0,0	0,540	
33130,2	105,7	0,0	P	224,5	182,3	0,0	0,580	OK
			M	6115,1	105,6	0,0	0,020	
			N	130,2	171,7	0,0	0,610	
7570,3	51,8	0,0	P	251,0	185,1	0,0	0,280	OK
			M	6572,5	51,8	0,0	0,010	
			N	70,3	165,0	0,0	0,310	
7680,6	77,8	0,0	P	184,2	177,8	0,0	0,440	OK
			M	6350,9	77,7	0,0	0,010	
			N	80,6	166,1	0,0	0,470	
7752,0	38,3	0,0	P	251,0	185,1	0,0	0,210	OK
			M	6689,5	38,3	0,0	0,010	
			N	52,0	162,9	0,0	0,230	
7888,2	86,5	0,0	P	180,8	177,4	0,0	0,490	OK
			M	6276,6	86,5	0,0	0,010	
			N	88,2	167,0	0,0	0,520	
7998,8	76,3	0,0	P	237,7	183,7	0,0	0,420	OK
			M	6363,4	76,2	0,0	0,010	
			N	98,8	168,2	0,0	0,450	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
17114,9	139,5	0,0	P	142,6	173,1	0,0	0,810	OK
596,7	122,7	0,0	M	5972,2	122,6	0,0	0,020	OK
17114,9	139,5	0,0	N	114,9	170,0	0,0	0,820	OK

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:**

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS:  $\sigma_{cL} = 17400,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_{aL} = 315000,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	$\sigma_a$	$\sigma_a/\sigma_{aL}$
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
46 OK	44,0	0,0	28,7	-3940,3	0,23	110190,5	0,35

47	OK	36,1	0,0	29,6	-3226,0	0,19	88262,5	0,28
48	OK	44,0	0,0	28,7	-3940,3	0,23	110190,5	0,35
49	OK	36,1	0,0	29,6	-3226,0	0,19	88262,5	0,28
50	OK	78,0	0,0	61,3	-6979,7	0,40	191846,8	0,61
51	OK	73,0	0,0	67,2	-6520,5	0,37	176032,7	0,56
52	OK	82,2	0,0	67,4	-7353,3	0,42	201207,4	0,64
53	OK	60,2	0,0	48,0	-5383,6	0,31	147740,2	0,47
54	OK	55,2	0,0	53,9	-4924,3	0,28	131928,9	0,42
55	OK	64,4	0,0	54,1	-5758,0	0,33	157128,5	0,50
56	OK	37,0	0,0	22,7	-3315,5	0,19	93211,1	0,30
57	OK	29,1	0,0	23,5	-2600,3	0,15	71254,5	0,23
58	OK	37,0	0,0	22,7	-3315,5	0,19	93211,1	0,30
59	OK	29,1	0,0	23,5	-2600,3	0,15	71254,5	0,23
60	OK	86,8	0,0	68,9	-7760,9	0,45	213079,4	0,68
61	OK	81,7	0,0	74,8	-7301,6	0,42	197265,5	0,63
62	OK	91,0	0,0	75,0	-8135,3	0,47	222467,4	0,71
63	OK	69,0	0,0	55,6	-6165,6	0,35	169000,2	0,54
64	OK	63,9	0,0	61,5	-5706,3	0,33	153188,6	0,49
65	OK	73,2	0,0	61,7	-6539,2	0,38	178361,3	0,57
66	OK	86,8	0,0	68,9	-7760,9	0,45	213079,4	0,68
67	OK	69,0	0,0	55,6	-6165,6	0,35	169000,2	0,54
68	OK	66,7	0,0	87,3	-5939,8	0,34	152162,5	0,48
69	OK	48,9	0,0	74,0	-4343,1	0,25	108115,4	0,34

#### Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure:  $WkL = 0,30$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL	
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm		
34	OK	35,2	0,0	43,6	0.09	0,31
35	OK	36,8	0,0	57,2	0.09	0,31
36	OK	46,8	0,0	48,0	0.13	0,42
37	OK	44,2	0,0	53,9	0.12	0,39
38	OK	51,0	0,0	54,1	0.14	0,46
44	OK	64,0	0,0	69,3	0.17	0,57
45	OK	40,3	0,0	74,0	0.10	0,32

#### Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 13050,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Fessure:  $WkL = 0,15$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	Wk	Wk/WkL	
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm		
39	OK	23,2	0,0	36,5	-2054,1	0,16	0,06	0,39
40	OK	19,3	0,0	37,1	-1705,0	0,13	0,05	0,30
41	OK	51,0	0,0	53,8	-4547,8	0,35	0,14	0,92
42	OK	49,1	0,0	58,0	-4377,4	0,34	0,13	0,87
43	OK	53,9	0,0	58,1	-4806,4	0,37	0,14	0,97

70	OK	24,3	0,0	45,3	-2143,9	0,16	0,06	0,39
71	OK	31,6	0,0	42,0	-2812,6	0,22	0,08	0,55
72	OK	15,5	0,0	37,7	-1361,0	0,10	0,03	0,22
73	OK	40,3	0,0	49,6	-3593,1	0,28	0,11	0,71
74	OK	31,9	0,0	60,2	-2817,7	0,22	0,08	0,51

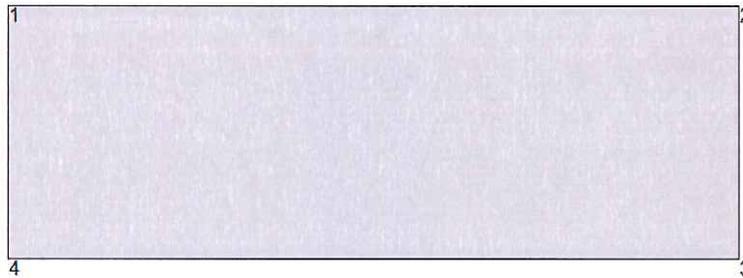
### 9.2.1.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

$V_{sdu}$	228.6	kN
$M_{sdu}$	119.2	kNm
$N_{sdu}$	114.9	kN
$M_0$	6.832	kNm
$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	27.6	cm
$\delta$	1.057	
$r$	1.324	m
$A_{sl}$	15.7	cm <sup>2</sup>
$c$	8.4	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$A_{sw}$	2.82	cm <sup>2</sup>
passo staffe	20	cm
$f_{cd}$	18.156	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd}$	1.263	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\rho$	0.0057	
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$VR_{d1}$	156.642	kN
$VR_{d2}$	1503.338	kN
$A_{sw,min}$	3.90	cm <sup>2</sup>
passo staffe, max	30.0	cm
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
$VR_{d2}$	1503.338	kN
$V_{cd}$	221.068	kN
$V_{wd,min}$	7.532	kN
$V_{wd}$	137.052	kN
$VR_{d3}$	358.120	kN

La verifica è soddisfatta considerando armatura a taglio  $\Phi 12/(20 \times 40)$ .

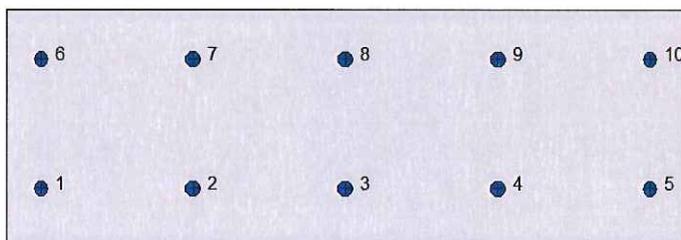
## 9.2.2 MEZZERIA (ASTA 15)

### 9.2.2.1 Verifiche a Presso-Flessione



#### Geometria della sezione:

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	35,0
2	100,0	35,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0



#### Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	5,0	8,4	3,1	no
2	27,5	8,4	3,1	no
3	50,0	8,4	3,1	no
4	72,5	8,4	3,1	no

5	95,0	8,4	3,1	no
6	5,0	27,6	3,1	no
7	27,5	27,6	3,1	no
8	50,0	27,6	3,1	no
9	72,5	27,6	3,1	no
10	95,0	27,6	3,1	no

**Normativa di riferimento:**

D.M. 09/01/1996 - 'Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente moderatamente aggressivo

**Materiali:**

**Calcestruzzo classe: C28/35**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 350 daN/cm<sup>2</sup>

f<sub>ck</sub> (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 290 daN/cm<sup>2</sup>

f<sub>ctm</sub> (resistenza a trazione media) = 29 daN/cm<sup>2</sup>

G (modulo di elasticità tangenziale) = 150545 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 337220 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050

Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: B450C**

f<sub>yk</sub> (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm<sup>2</sup>

f<sub>kt</sub> (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>

ε<sub>uk</sub> (deformazione di rottura) = 0.075

G (modulo di elasticità tangenziale) = 770000 daN/cm<sup>2</sup>

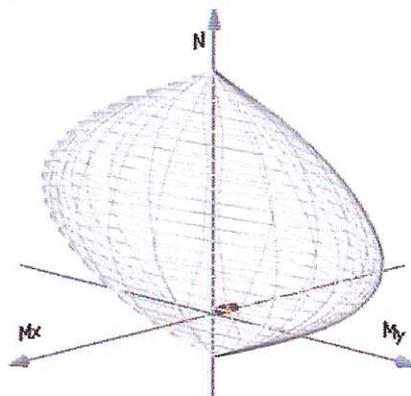
E (modulo elastico) = 2000000 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012

Peso specifico = 7850 daN/mc

**Dominio SLU:**



**Caratteristiche limite della sezione:**

Nu	Mxu	Myu	Stato Sez.
kN	kN m	kN m	
-1229,3	-6,1	0,0	Completamente tesa
6981,0	6,1	0,0	Completamente compressa
0,0	156,9	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-167,3	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	522,9	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-522,9	Fibre di destra tese

**Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per Mxu, Myu e Nu proporzionali (sigla verifica: P)

Verifica con rapporto Mxu, Myu assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con Nu costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
124,9	-111,0	0,0	P	38,5	-171,5	0,0	0,650	OK
			M	5986,7	-110,9	0,0	0,000	
			N	24,9	-170,0	0,0	0,650	
226,2	-88,8	0,0	P	51,0	-172,8	0,0	0,510	OK
			M	6171,4	-88,7	0,0	0,000	
			N	26,2	-170,1	0,0	0,520	
324,9	-111,0	0,0	P	38,5	-171,5	0,0	0,650	OK
			M	5986,7	-110,9	0,0	0,000	
			N	24,9	-170,0	0,0	0,650	
426,2	-88,8	0,0	P	51,0	-172,8	0,0	0,510	OK
			M	6171,4	-88,7	0,0	0,000	
			N	26,2	-170,1	0,0	0,520	
546,6	-111,8	0,0	P	73,1	-175,2	0,0	0,640	OK
			M	5980,0	-111,7	0,0	0,010	
			N	46,6	-172,3	0,0	0,650	
650,9	-89,1	0,0	P	101,9	-178,3	0,0	0,500	OK
			M	6168,9	-89,0	0,0	0,010	
			N	50,9	-172,8	0,0	0,510	
749,8	-111,2	0,0	P	78,7	-175,8	0,0	0,630	OK
			M	5985,0	-111,1	0,0	0,010	
			N	49,8	-172,7	0,0	0,640	
846,6	-111,8	0,0	P	73,1	-175,2	0,0	0,640	OK
			M	5980,0	-111,7	0,0	0,010	
			N	46,6	-172,3	0,0	0,650	
950,9	-89,1	0,0	P	101,9	-178,3	0,0	0,500	OK
			M	6168,9	-89,0	0,0	0,010	
			N	50,9	-172,8	0,0	0,510	
1049,8	-111,2	0,0	P	78,7	-175,8	0,0	0,630	OK
			M	5985,0	-111,1	0,0	0,010	
			N	49,8	-172,7	0,0	0,640	
1138,1	-124,6	0,0	P	52,9	-173,0	0,0	0,720	OK
			M	5873,9	-124,5	0,0	0,010	
			N	38,1	-171,4	0,0	0,730	
1239,4	-102,4	0,0	P	67,1	-174,5	0,0	0,590	OK
			M	6058,1	-102,3	0,0	0,010	
			N	39,4	-171,6	0,0	0,600	
1338,1	-124,6	0,0	P	52,9	-173,0	0,0	0,720	OK

			M	5873,9	-124,5	0,0	0,010	
			N	38,1	-171,4	0,0	0,730	
1439,4	-102,4	0,0	P	67,1	-174,5	0,0	0,590	OK
			M	6058,1	-102,3	0,0	0,010	
			N	39,4	-171,6	0,0	0,600	
1555,7	-101,6	0,0	P	97,6	-177,8	0,0	0,570	OK
			M	6064,7	-101,5	0,0	0,010	
			N	55,8	-173,3	0,0	0,590	
1660,0	-78,9	0,0	P	138,6	-182,1	0,0	0,430	OK
			M	6253,9	-78,8	0,0	0,010	
			N	60,0	-173,8	0,0	0,450	
1758,9	-101,0	0,0	P	104,1	-178,5	0,0	0,570	OK
			M	6069,7	-100,9	0,0	0,010	
			N	58,9	-173,7	0,0	0,580	
1855,7	-101,6	0,0	P	97,6	-177,8	0,0	0,570	OK
			M	6064,7	-101,5	0,0	0,010	
			N	55,8	-173,3	0,0	0,590	
1960,0	-78,9	0,0	P	138,6	-182,1	0,0	0,430	OK
			M	6253,9	-78,8	0,0	0,010	
			N	60,0	-173,8	0,0	0,450	
2058,9	-101,0	0,0	P	104,1	-178,5	0,0	0,570	OK
			M	6069,7	-100,9	0,0	0,010	
			N	58,9	-173,7	0,0	0,580	
2155,7	-101,6	0,0	P	97,6	-177,8	0,0	0,570	OK
			M	6064,7	-101,5	0,0	0,010	
			N	55,8	-173,3	0,0	0,590	
2255,7	-101,6	0,0	P	97,6	-177,8	0,0	0,570	OK
			M	6064,7	-101,5	0,0	0,010	
			N	55,8	-173,3	0,0	0,590	
2371,6	-41,6	0,0	P	350,2	-203,5	0,0	0,200	OK
			M	6566,6	-41,5	0,0	0,010	
			N	71,6	-175,0	0,0	0,240	
2471,6	-41,6	0,0	P	350,2	-203,5	0,0	0,200	OK
			M	6566,6	-41,5	0,0	0,010	
			N	71,6	-175,0	0,0	0,240	
2556,6	-112,6	0,0	P	89,0	-176,9	0,0	0,640	OK
			M	5973,3	-112,5	0,0	0,010	
			N	56,6	-173,4	0,0	0,650	
2660,9	-89,9	0,0	P	122,2	-180,4	0,0	0,500	OK
			M	6161,7	-89,8	0,0	0,010	
			N	60,9	-173,9	0,0	0,520	
2755,7	-101,6	0,0	P	97,6	-177,8	0,0	0,570	OK
			M	6064,7	-101,5	0,0	0,010	
			N	55,8	-173,3	0,0	0,590	
2860,0	-78,9	0,0	P	138,6	-182,1	0,0	0,430	OK
			M	6253,9	-78,8	0,0	0,010	
			N	60,0	-173,8	0,0	0,450	
2974,1	-66,7	0,0	P	210,5	-189,5	0,0	0,350	OK
			M	6355,6	-66,6	0,0	0,010	
			N	74,1	-175,3	0,0	0,380	
3065,3	-83,7	0,0	P	142,5	-182,6	0,0	0,460	OK
			M	6213,8	-83,6	0,0	0,010	
			N	65,3	-174,3	0,0	0,480	
3172,6	-60,5	0,0	P	229,5	-191,4	0,0	0,320	OK
			M	6407,1	-60,5	0,0	0,010	
			N	72,6	-175,1	0,0	0,350	
3271,6	-82,6	0,0	P	159,9	-184,3	0,0	0,450	OK

			M	6223,1	-82,5	0,0	0,010	
			N	71,6	-175,0	0,0	0,470	
3374,1	-66,7	0,0	P	210,5	-189,5	0,0	0,350	OK
			M	6355,6	-66,6	0,0	0,010	
			N	74,1	-175,3	0,0	0,380	
7557,4	-47,7	0,0	P	230,4	-191,5	0,0	0,250	OK
			M	6515,1	-47,6	0,0	0,010	
			N	57,4	-173,5	0,0	0,270	
7637,8	-41,1	0,0	P	170,9	-185,4	0,0	0,220	OK
			M	6571,1	-41,0	0,0	0,010	
			N	37,8	-171,4	0,0	0,240	
7739,1	-54,3	0,0	P	130,5	-181,3	0,0	0,300	OK
			M	6459,6	-54,2	0,0	0,010	
			N	39,1	-171,5	0,0	0,320	
7845,4	-32,6	0,0	P	273,2	-195,8	0,0	0,170	OK
			M	6643,1	-32,5	0,0	0,010	
			N	45,4	-172,2	0,0	0,190	
7956,0	-37,7	0,0	P	293,3	-197,8	0,0	0,190	OK
			M	6599,2	-37,7	0,0	0,010	
			N	56,0	-173,3	0,0	0,220	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1138,1	-124,6	0,0	P	52,9	-173,0	0,0	0,720	OK
546,6	-111,8	0,0	M	5980,0	-111,7	0,0	0,010	OK
1138,1	-124,6	0,0	N	38,1	-171,4	0,0	0,730	OK

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:**

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS:  $\sigma_{cL} = 17400,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_{aL} = 315000,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	$\sigma_a$	$\sigma_a/\sigma_{aL}$
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
46 OK	-72,5	0,0	28,7	-6256,7	0,36	180310,7	0,57
47 OK	-57,7	0,0	29,5	-4975,8	0,29	141255,8	0,45
48 OK	-72,5	0,0	28,7	-6256,7	0,36	180310,7	0,57
49 OK	-57,7	0,0	29,5	-4975,8	0,29	141255,8	0,45
50 OK	-73,7	0,0	34,5	-6359,3	0,37	181567,9	0,58
51 OK	-58,6	0,0	37,3	-5051,8	0,29	141090,2	0,45
52 OK	-73,3	0,0	36,6	-6327,0	0,36	179923,1	0,57
53 OK	-73,7	0,0	34,5	-6359,3	0,37	181567,9	0,58
54 OK	-58,6	0,0	37,3	-5051,8	0,29	141090,2	0,45
55 OK	-73,3	0,0	36,6	-6327,0	0,36	179923,1	0,57
56 OK	-79,3	0,0	22,6	-6845,5	0,39	200091,7	0,64
57 OK	-64,5	0,0	23,5	-5565,0	0,32	161031,1	0,51
58 OK	-79,3	0,0	22,6	-6845,5	0,39	200091,7	0,64
59 OK	-64,5	0,0	23,5	-5565,0	0,32	161031,1	0,51
60 OK	-65,2	0,0	42,1	-5622,6	0,32	156864,8	0,50
61 OK	-50,1	0,0	44,9	-4314,0	0,25	116406,8	0,37
62 OK	-64,8	0,0	44,2	-5590,1	0,32	155222,9	0,49
63 OK	-65,2	0,0	42,1	-5622,6	0,32	156864,8	0,50

64	OK	-50,1	0,0	44,9	-4314,0	0,25	116406,8	0,37
65	OK	-64,8	0,0	44,2	-5590,1	0,32	155222,9	0,49
66	OK	-65,2	0,0	42,1	-5622,6	0,32	156864,8	0,50
67	OK	-65,2	0,0	42,1	-5622,6	0,32	156864,8	0,50
68	OK	-43,6	0,0	56,4	-3750,8	0,22	95883,7	0,30
69	OK	-43,6	0,0	56,4	-3750,8	0,22	95883,7	0,30

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:**

Valori limite:

Fessure:  $WkL = 0,45$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL	
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm		
34	OK	-74,8	0,0	43,6	0.19	0,42
35	OK	-59,2	0,0	49,4	0.15	0,32
36	OK	-73,7	0,0	34,5	0.19	0,42
37	OK	-58,6	0,0	37,3	0.15	0,33
38	OK	-73,3	0,0	36,6	0.19	0,42
44	OK	-64,4	0,0	47,2	0.16	0,36
45	OK	-43,6	0,0	56,4	0.10	0,22

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 13050,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

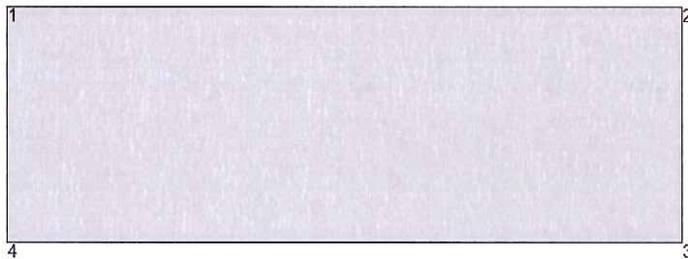
Fessure:  $WkL = 0,30$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	Wk	Wk/WkL	
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm		
39	OK	-74,5	0,0	36,5	-6422,9	0,49	0.28	0,93
40	OK	-64,1	0,0	37,1	-5526,2	0,42	0.17	0,58
41	OK	-56,5	0,0	41,7	-4870,9	0,37	0.14	0,47
42	OK	-45,9	0,0	43,7	-3954,7	0,30	0.11	0,37
43	OK	-56,2	0,0	43,1	-4848,0	0,37	0.14	0,47
70	OK	-45,3	0,0	45,2	-3902,2	0,30	0.11	0,36
71	OK	-44,7	0,0	33,2	-3853,6	0,30	0.11	0,37
72	OK	-53,8	0,0	37,7	-4640,5	0,36	0.14	0,45
73	OK	-36,2	0,0	40,8	-3114,8	0,24	0.09	0,29
74	OK	-44,4	0,0	51,4	-3824,3	0,29	0.10	0,35

### 9.3 PIEDRITTI

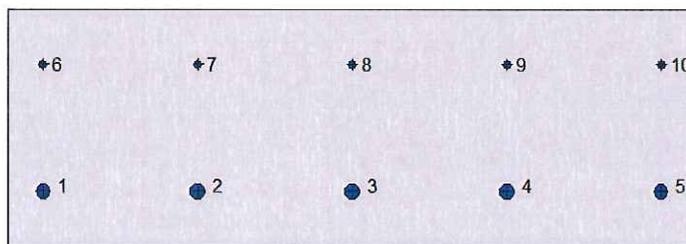
#### 9.3.1 ATTACCO SOLETTA SUPERIORE (ASTA 6)

##### 9.3.1.1 Verifiche allo stato limite ultimo Presso-Flessione



#### Geometria della sezione:

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	35,0
2	100,0	35,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0



#### Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	5,0	8,4	3,1	no
2	27,5	8,4	3,1	no
3	50,0	8,4	3,1	no
4	72,5	8,4	3,1	no

5	95,0	8,4	3,1	no
6	5,0	27,0	1,1	no
7	27,5	27,0	1,1	no
8	50,0	27,0	1,1	no
9	72,5	27,0	1,1	no
10	95,0	27,0	1,1	no

**Normativa di riferimento:**

D.M. 09/01/1996 - 'Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente moderatamente aggressivo

**Materiali:****Calcestruzzo classe: C28/35**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 350 daN/cm<sup>2</sup>

fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 290 daN/cm<sup>2</sup>

fctm (resistenza a trazione media) = 29 daN/cm<sup>2</sup>

G (modulo di elasticità tangenziale) = 150545 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 337220 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050

Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: B450C**

fyk (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm<sup>2</sup>

fkt (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>

εuk (deformazione di rottura) = 0.075

G (modulo di elasticità tangenziale) = 770000 daN/cm<sup>2</sup>

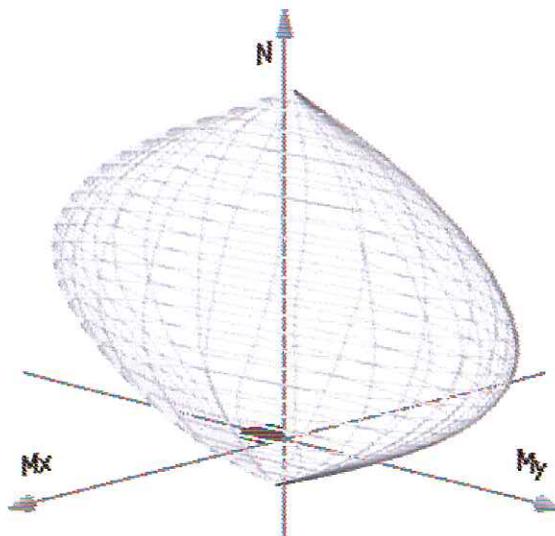
E (modulo elastico) = 2000000 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012

Peso specifico = 7850 daN/mc

Dominio SLU:


**Caratteristiche limite della sezione:**

Nu	Mxu	Myu	Stato Sez.
kN	kN m	kN m	
-835,9	34,9	0,0	Completamente tesa
6587,6	-34,9	0,0	Completamente compressa
0,0	155,8	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-82,3	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	361,9	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-361,9	Fibre di destra tese

**Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per Mxu, Myu e Nu proporzionali (sigla verifica: P)

Verifica con rapporto Mxu, Myu assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con Nu costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m			kN m	kN m		
1248,2	51,6	0,0	P	1381,7	287,3	0,0	0,180	OK
			M	5831,6	51,5	0,0	0,040	
			N	248,2	185,1	0,0	0,280	
2191,9	33,8	0,0	P	1745,7	307,1	0,0	0,110	OK
			M	5982,7	33,7	0,0	0,030	
			N	191,9	178,7	0,0	0,190	
3248,2	51,6	0,0	P	1381,7	287,3	0,0	0,180	OK
			M	5831,6	51,5	0,0	0,040	
			N	248,2	185,1	0,0	0,280	
4191,9	33,8	0,0	P	1745,7	307,1	0,0	0,110	OK
			M	5982,7	33,7	0,0	0,030	
			N	191,9	178,7	0,0	0,190	
5276,3	148,6	0,0	P	368,5	198,2	0,0	0,750	OK
			M	5008,5	148,5	0,0	0,050	
			N	276,3	188,2	0,0	0,790	
6221,7	133,9	0,0	P	319,4	192,9	0,0	0,690	OK
			M	5142,4	133,8	0,0	0,040	
			N	221,7	182,1	0,0	0,730	
7279,0	153,5	0,0	P	358,2	197,1	0,0	0,780	OK

			M	4961,8	153,4	0,0	0,060	
			N	279,0	188,5	0,0	0,810	
8257,8	119,5	0,0	P	445,0	206,3	0,0	0,580	OK
			M	5262,4	119,4	0,0	0,050	
			N	257,8	186,2	0,0	0,640	
9203,2	104,7	0,0	P	388,8	200,3	0,0	0,520	OK
			M	5385,8	104,6	0,0	0,040	
			N	203,2	180,0	0,0	0,580	
10260,5	124,3	0,0	P	428,7	204,6	0,0	0,610	OK
			M	5222,4	124,2	0,0	0,050	
			N	260,5	186,5	0,0	0,670	
11248,2	62,7	0,0	P	1038,1	262,1	0,0	0,240	OK
			M	5738,3	62,6	0,0	0,040	
			N	248,2	185,1	0,0	0,340	
12191,9	44,8	0,0	P	1165,0	272,1	0,0	0,160	OK
			M	5888,9	44,8	0,0	0,030	
			N	191,9	178,7	0,0	0,250	
13248,2	62,7	0,0	P	1038,1	262,1	0,0	0,240	OK
			M	5738,3	62,6	0,0	0,040	
			N	248,2	185,1	0,0	0,340	
14191,9	44,8	0,0	P	1165,0	272,1	0,0	0,160	OK
			M	5888,9	44,8	0,0	0,030	
			N	191,9	178,7	0,0	0,250	
15276,3	138,5	0,0	P	402,6	201,8	0,0	0,690	OK
			M	5101,7	138,4	0,0	0,050	
			N	276,3	188,2	0,0	0,740	
16221,7	123,8	0,0	P	351,6	196,4	0,0	0,630	OK
			M	5226,6	123,7	0,0	0,040	
			N	221,7	182,1	0,0	0,680	
17279,0	143,3	0,0	P	390,4	200,5	0,0	0,710	OK
			M	5057,9	143,2	0,0	0,050	
			N	279,0	188,5	0,0	0,760	
18257,8	109,4	0,0	P	499,5	212,0	0,0	0,520	OK
			M	5346,6	109,3	0,0	0,050	
			N	257,8	186,2	0,0	0,590	
19203,2	94,6	0,0	P	442,4	206,0	0,0	0,460	OK
			M	5470,0	94,6	0,0	0,040	
			N	203,2	180,0	0,0	0,530	
20260,5	114,2	0,0	P	478,5	209,8	0,0	0,540	OK
			M	5306,5	114,1	0,0	0,050	
			N	260,5	186,5	0,0	0,610	
21276,3	138,5	0,0	P	402,6	201,8	0,0	0,690	OK
			M	5101,7	138,4	0,0	0,050	
			N	276,3	188,2	0,0	0,740	
22257,8	109,4	0,0	P	499,5	212,0	0,0	0,520	OK
			M	5346,6	109,3	0,0	0,050	
			N	257,8	186,2	0,0	0,590	
23121,7	55,3	0,0	P	456,4	207,5	0,0	0,270	OK
			M	5800,3	55,2	0,0	0,020	
			N	121,7	170,5	0,0	0,320	
24103,2	26,2	0,0	P	1030,4	261,5	0,0	0,100	OK
			M	6047,1	26,1	0,0	0,020	
			N	103,2	168,3	0,0	0,160	
25276,3	125,1	0,0	P	458,8	207,7	0,0	0,600	OK
			M	5215,8	125,0	0,0	0,050	
			N	276,3	188,2	0,0	0,660	
26221,7	110,3	0,0	P	406,4	202,2	0,0	0,540	OK

			M	5339,1	110,2	0,0	0,040	
			N	221,7	182,1	0,0	0,610	
27257,8	109,4	0,0	P	499,5	212,0	0,0	0,520	OK
			M	5346,6	109,3	0,0	0,050	
			N	257,8	186,2	0,0	0,590	
28203,2	94,6	0,0	P	442,4	206,0	0,0	0,460	OK
			M	5470,0	94,6	0,0	0,040	
			N	203,2	180,0	0,0	0,530	
29167,2	68,9	0,0	P	519,8	214,0	0,0	0,320	OK
			M	5686,2	68,8	0,0	0,030	
			N	167,2	175,8	0,0	0,390	
30221,2	120,5	0,0	P	362,6	197,5	0,0	0,610	OK
			M	5254,2	120,4	0,0	0,040	
			N	221,2	182,1	0,0	0,660	
31165,0	103,1	0,0	P	306,4	191,5	0,0	0,540	OK
			M	5399,2	103,0	0,0	0,030	
			N	165,0	175,6	0,0	0,590	
32221,2	121,0	0,0	P	360,8	197,3	0,0	0,610	OK
			M	5249,8	120,9	0,0	0,040	
			N	221,2	182,1	0,0	0,660	
33167,2	68,9	0,0	P	519,8	214,0	0,0	0,320	OK
			M	5686,2	68,8	0,0	0,030	
			N	167,2	175,8	0,0	0,390	
75109,7	34,9	0,0	P	740,8	235,9	0,0	0,150	OK
			M	5973,0	34,8	0,0	0,020	
			N	109,7	169,1	0,0	0,210	
76120,3	93,2	0,0	P	237,6	183,9	0,0	0,510	OK
			M	5482,3	93,1	0,0	0,020	
			N	120,3	170,3	0,0	0,550	
77109,7	32,9	0,0	P	807,1	242,1	0,0	0,140	OK
			M	5990,1	32,8	0,0	0,020	
			N	109,7	169,1	0,0	0,190	
78120,3	84,7	0,0	P	265,6	187,0	0,0	0,450	OK
			M	5553,1	84,6	0,0	0,020	
			N	120,3	170,3	0,0	0,500	
79113,7	50,1	0,0	P	475,0	209,4	0,0	0,240	OK
			M	5844,0	50,1	0,0	0,020	
			N	113,7	169,5	0,0	0,300	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
7279,0	153,5	0,0	P	358,2	197,1	0,0	0,780	OK
7279,0	153,5	0,0	M	4961,8	153,4	0,0	0,060	OK
7279,0	153,5	0,0	N	279,0	188,5	0,0	0,810	OK

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:**

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS:  $\sigma_{cL} = 17400,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_{aL} = 315000,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	$\sigma_a$	$\sigma_a/\sigma_{aL}$
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	

46	OK	27,5	0,0	165,5	-2378,5	0,14	23182,2	0,07
47	OK	16,4	0,0	128,0	-1368,6	0,08	-12081,8	0,04
48	OK	27,5	0,0	165,5	-2378,5	0,14	23182,2	0,07
49	OK	16,4	0,0	128,0	-1368,6	0,08	-12081,8	0,04
50	OK	96,6	0,0	182,4	-8912,0	0,51	199097,4	0,63
51	OK	87,5	0,0	146,0	-8083,9	0,46	186788,3	0,59
52	OK	99,8	0,0	184,2	-9207,9	0,53	207053,0	0,66
53	OK	77,5	0,0	170,0	-7126,1	0,41	151683,6	0,48
54	OK	68,4	0,0	133,6	-6300,8	0,36	139302,2	0,44
55	OK	80,6	0,0	171,8	-7422,7	0,43	159621,1	0,51
56	OK	34,3	0,0	165,5	-3033,8	0,17	39437,7	0,13
57	OK	23,1	0,0	128,0	-2018,5	0,12	22245,8	0,07
58	OK	34,3	0,0	165,5	-3033,8	0,17	39437,7	0,13
59	OK	23,1	0,0	128,0	-2018,5	0,12	22245,8	0,07
60	OK	88,2	0,0	182,4	-8123,6	0,47	176437,0	0,56
61	OK	79,1	0,0	146,0	-7297,3	0,42	164083,8	0,52
62	OK	91,4	0,0	184,2	-8420,9	0,48	184409,4	0,59
63	OK	69,0	0,0	170,0	-6335,7	0,36	129136,5	0,41
64	OK	59,9	0,0	133,6	-5511,5	0,32	116667,2	0,37
65	OK	72,2	0,0	171,8	-6632,9	0,38	137054,1	0,44
66	OK	88,2	0,0	182,4	-8123,6	0,47	176437,0	0,56
67	OK	69,0	0,0	170,0	-6335,7	0,36	129136,5	0,41
68	OK	36,7	0,0	109,7	-3349,5	0,19	62467,1	0,20
69	OK	17,5	0,0	97,3	-1529,2	0,09	16782,1	0,05

#### Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure:  $WkL = 0,30$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL	
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm		
34	OK	28,2	0,0	165,5	0.03	0,09
35	OK	22,1	0,0	130,8	0.02	0,07
36	OK	77,5	0,0	170,0	0.17	0,58
37	OK	68,4	0,0	133,6	0.16	0,53
38	OK	80,6	0,0	171,8	0.18	0,61
44	OK	75,3	0,0	173,5	0.17	0,55
45	OK	17,5	0,0	97,3	0.02	0,06

#### Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 13050,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Fessure:  $WkL = 0,15$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	Wk	Wk/WkL	
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm		
39	OK	30,0	0,0	143,1	-2654,0	0,20	0,04	0,26
40	OK	22,2	0,0	116,9	-1943,3	0,15	0,02	0,17
41	OK	61,5	0,0	147,2	-5644,6	0,43	0,13	0,88
42	OK	55,1	0,0	121,7	-5068,2	0,39	0,12	0,82

43	OK	63,7	0,0	148,4	-5853,0	0,45	0,14	0,93
70	OK	6,0	0,0	91,0	-537,0	0,04	0,00	0,00
71	OK	52,2	0,0	93,8	-4820,0	0,37	0,12	0,83
72	OK	14,5	0,0	91,0	-1241,1	0,10	0,01	0,08
73	OK	43,8	0,0	93,8	-4032,7	0,31	0,10	0,66
74	OK	11,3	0,0	93,8	-934,5	0,07	0,00	0,03

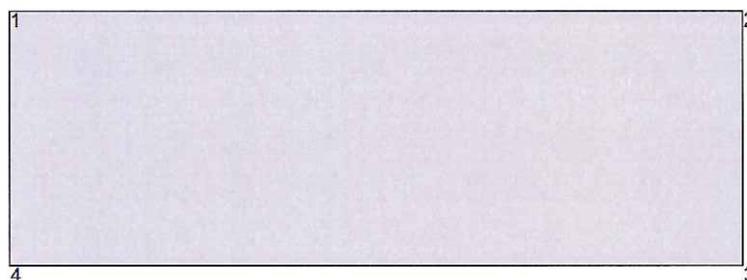
### 9.3.1.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

$V_{sdu}$	89.776	kN
$M_{sdu}$	113	kNm
$N_{sdu}$	222	kN
$M_0$	13.200	kNm
$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$bw$	100	cm
$d$	27.6	cm
$\delta$	1.117	
$r$	1.324	m
$Asl$	15.7	cm <sup>2</sup>
$c$	8.4	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$Asw$	1.96	cm <sup>2</sup>
passo staffe	40	cm
$f_{cd}$	18.156	N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd}$	1.263	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\rho$	0.0057	
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
VRd1	165.457	kN
VRd2	1503.338	kN

La verifica è soddisfatta senza necessità di armatura a taglio.

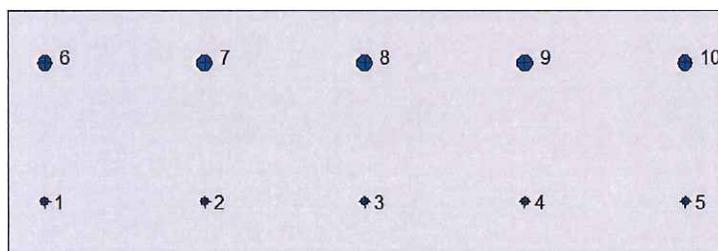
### 9.3.2 ATTACCO SOLETTA INFERIORE (ASTA 2)

#### 9.3.2.1 Verifiche allo stato limite ultimo Presso-Flessione



#### Geometria della sezione:

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	35,0
2	100,0	35,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0



#### Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	5,0	8,0	1,1	no
2	27,5	8,0	1,1	no
3	50,0	8,0	1,1	no

4	72,5	8,0	1,1	no
5	95,0	8,0	1,1	no
6	5,0	27,6	3,1	no
7	27,5	27,6	3,1	no
8	50,0	27,6	3,1	no
9	72,5	27,6	3,1	no
10	95,0	27,6	3,1	no

**Normativa di riferimento:**

D.M. 09/01/1996 - 'Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente moderatamente aggressivo

**Materiali:****Calcestruzzo classe: C28/35**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 350 daN/cm<sup>2</sup>

fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 290 daN/cm<sup>2</sup>

fctm (resistenza a trazione media) = 29 daN/cm<sup>2</sup>

G (modulo di elasticità tangenziale) = 150545 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 337220 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050

Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: B450C**

fyk (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm<sup>2</sup>

fkt (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>

εuk (deformazione di rottura) = 0.075

G (modulo di elasticità tangenziale) = 770000 daN/cm<sup>2</sup>

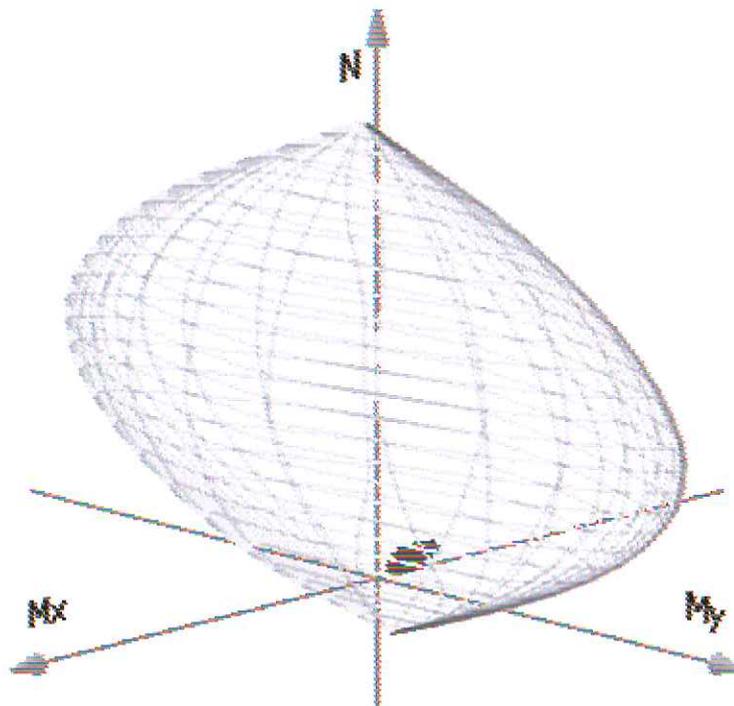
E (modulo elastico) = 2000000 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012

Peso specifico = 7850 daN/mc

Dominio SLU:


**Caratteristiche limite della sezione:**

Nu	Mxu	Myu	Stato Sez.
kN	kN m	kN m	
-835,9	-41,1	0,0	Completamente tesa
6587,6	41,1	0,0	Completamente compressa
0,0	74,8	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-161,6	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	360,5	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-360,5	Fibre di destra tese

**Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per Mxu, Myu e Nu proporzionali (sigla verifica: P)

Verifica con rapporto Mxu, Myu assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con Nu costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1276,7	-82,4	0,0	P	844,8	-251,6	0,0	0,330	OK
			M	5540,7	-82,3	0,0	0,050	
			N	276,7	-194,3	0,0	0,420	
2220,5	-67,4	0,0	P	814,8	-248,9	0,0	0,270	OK
			M	5665,8	-67,3	0,0	0,040	
			N	220,5	-187,9	0,0	0,360	
3276,7	-82,4	0,0	P	844,8	-251,6	0,0	0,330	OK
			M	5540,7	-82,3	0,0	0,050	
			N	276,7	-194,3	0,0	0,420	
4220,5	-67,4	0,0	P	814,8	-248,9	0,0	0,270	OK
			M	5665,8	-67,3	0,0	0,040	
			N	220,5	-187,9	0,0	0,360	
5248,6	-140,6	0,0	P	359,6	-203,4	0,0	0,690	OK

			M	5056,7	-140,5	0,0	0,050	
			N	248,6	-191,2	0,0	0,730	
6190,7	-129,4	0,0	P	288,3	-195,6	0,0	0,660	OK
			M	5152,6	-129,3	0,0	0,040	
			N	190,7	-184,5	0,0	0,700	
7245,9	-146,5	0,0	P	337,3	-201,0	0,0	0,730	OK
			M	5003,0	-146,4	0,0	0,050	
			N	245,9	-190,8	0,0	0,770	
8267,1	-113,8	0,0	P	515,9	-219,8	0,0	0,520	OK
			M	5281,0	-113,7	0,0	0,050	
			N	267,1	-193,3	0,0	0,590	
9209,2	-102,6	0,0	P	429,9	-210,8	0,0	0,490	OK
			M	5373,9	-102,5	0,0	0,040	
			N	209,2	-186,6	0,0	0,550	
10264,4	-119,6	0,0	P	477,0	-215,8	0,0	0,550	OK
			M	5233,3	-119,5	0,0	0,050	
			N	264,4	-192,9	0,0	0,620	
11276,7	-79,7	0,0	P	887,4	-255,4	0,0	0,310	OK
			M	5563,7	-79,6	0,0	0,050	
			N	276,7	-194,3	0,0	0,410	
12220,5	-64,6	0,0	P	865,4	-253,5	0,0	0,250	OK
			M	5688,7	-64,5	0,0	0,040	
			N	220,5	-187,9	0,0	0,340	
13276,7	-79,7	0,0	P	887,4	-255,4	0,0	0,310	OK
			M	5563,7	-79,6	0,0	0,050	
			N	276,7	-194,3	0,0	0,410	
14220,5	-64,6	0,0	P	865,4	-253,5	0,0	0,250	OK
			M	5688,7	-64,5	0,0	0,040	
			N	220,5	-187,9	0,0	0,340	
15248,6	-150,4	0,0	P	331,1	-200,3	0,0	0,750	OK
			M	4967,1	-150,3	0,0	0,050	
			N	248,6	-191,2	0,0	0,790	
16190,7	-139,2	0,0	P	264,3	-192,9	0,0	0,720	OK
			M	5069,3	-139,1	0,0	0,040	
			N	190,7	-184,5	0,0	0,750	
17245,9	-156,2	0,0	P	312,1	-198,2	0,0	0,790	OK
			M	4911,5	-156,2	0,0	0,050	
			N	245,9	-190,8	0,0	0,820	
18267,1	-123,6	0,0	P	463,2	-214,3	0,0	0,580	OK
			M	5200,2	-123,5	0,0	0,050	
			N	267,1	-193,3	0,0	0,640	
19209,2	-112,4	0,0	P	383,2	-205,9	0,0	0,550	OK
			M	5292,7	-112,3	0,0	0,040	
			N	209,2	-186,6	0,0	0,600	
20264,4	-129,4	0,0	P	431,1	-211,0	0,0	0,610	OK
			M	5152,6	-129,3	0,0	0,050	
			N	264,4	-192,9	0,0	0,670	
21248,6	-150,4	0,0	P	331,1	-200,3	0,0	0,750	OK
			M	4967,1	-150,3	0,0	0,050	
			N	248,6	-191,2	0,0	0,790	
22267,1	-123,6	0,0	P	463,2	-214,3	0,0	0,580	OK
			M	5200,2	-123,5	0,0	0,050	
			N	267,1	-193,3	0,0	0,640	
2379,2	-95,7	0,0	P	148,6	-179,6	0,0	0,530	OK
			M	5430,8	-95,6	0,0	0,010	
			N	79,2	-171,3	0,0	0,560	
2497,7	-68,9	0,0	P	275,5	-194,2	0,0	0,350	OK

			M	5653,1	-68,8	0,0	0,020	
			N	97,7	-173,5	0,0	0,400	
25248,6	-138,8	0,0	P	365,3	-204,0	0,0	0,680	OK
			M	5073,0	-138,6	0,0	0,050	
			N	248,6	-191,2	0,0	0,730	
26190,7	-127,7	0,0	P	292,9	-196,2	0,0	0,650	OK
			M	5166,6	-127,6	0,0	0,040	
			N	190,7	-184,5	0,0	0,690	
27267,1	-123,6	0,0	P	463,2	-214,3	0,0	0,580	OK
			M	5200,2	-123,5	0,0	0,050	
			N	267,1	-193,3	0,0	0,640	
28209,2	-112,4	0,0	P	383,2	-205,9	0,0	0,550	OK
			M	5292,7	-112,3	0,0	0,040	
			N	209,2	-186,6	0,0	0,600	
29134,2	-114,9	0,0	P	219,4	-187,8	0,0	0,610	OK
			M	5271,5	-114,9	0,0	0,020	
			N	134,2	-177,9	0,0	0,650	
30203,2	-101,1	0,0	P	422,1	-210,0	0,0	0,480	OK
			M	5386,0	-101,0	0,0	0,040	
			N	203,2	-185,9	0,0	0,540	
31147,0	-86,5	0,0	P	342,6	-201,5	0,0	0,430	OK
			M	5507,2	-86,4	0,0	0,030	
			N	147,0	-179,4	0,0	0,480	
32203,2	-101,7	0,0	P	419,0	-209,7	0,0	0,480	OK
			M	5381,1	-101,6	0,0	0,040	
			N	203,2	-185,9	0,0	0,550	
33134,2	-114,9	0,0	P	219,4	-187,8	0,0	0,610	OK
			M	5271,5	-114,9	0,0	0,020	
			N	134,2	-177,9	0,0	0,650	
75115,3	-58,8	0,0	P	409,0	-208,6	0,0	0,280	OK
			M	5736,7	-58,7	0,0	0,020	
			N	115,3	-175,6	0,0	0,330	
7687,9	-83,8	0,0	P	193,9	-184,9	0,0	0,450	OK
			M	5529,4	-83,7	0,0	0,020	
			N	87,9	-172,4	0,0	0,490	
77115,3	-45,3	0,0	P	574,5	-225,8	0,0	0,200	OK
			M	5849,1	-45,2	0,0	0,020	
			N	115,3	-175,6	0,0	0,260	
7887,9	-91,9	0,0	P	174,6	-182,6	0,0	0,500	OK
			M	5462,0	-91,8	0,0	0,020	
			N	87,9	-172,4	0,0	0,530	
7980,0	-80,3	0,0	P	182,9	-183,6	0,0	0,440	OK
			M	5558,2	-80,2	0,0	0,010	
			N	80,0	-171,4	0,0	0,470	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
17245,9	-156,2	0,0	P	312,1	-198,2	0,0	0,790	OK
1276,7	-82,4	0,0	M	5540,7	-82,3	0,0	0,050	OK
17245,9	-156,2	0,0	N	245,9	-190,8	0,0	0,820	OK

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:**

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS:  $\sigma_{cL} = 17400,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_{aL} = 315000,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	$\sigma_a$	$\sigma_a/\sigma_{aL}$	
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq		
46	OK	-51,8	0,0	184,5	-4491,1	0,26	76516,3	0,24
47	OK	-42,5	0,0	147,0	-3689,4	0,21	64080,5	0,20
48	OK	-51,8	0,0	184,5	-4491,1	0,26	76516,3	0,24
49	OK	-42,5	0,0	147,0	-3689,4	0,21	64080,5	0,20
50	OK	-86,7	0,0	167,6	-7591,1	0,44	171070,5	0,54
51	OK	-80,0	0,0	128,9	-7008,4	0,40	166114,6	0,53
52	OK	-90,6	0,0	165,8	-7936,5	0,46	181811,0	0,58
53	OK	-68,6	0,0	179,9	-5988,9	0,34	120537,8	0,38
54	OK	-61,9	0,0	141,3	-5414,1	0,31	115321,2	0,37
55	OK	-72,5	0,0	178,1	-6337,6	0,36	131180,9	0,42
56	OK	-45,3	0,0	184,5	-3905,5	0,22	60303,2	0,19
57	OK	-36,0	0,0	147,0	-3104,3	0,18	47842,1	0,15
58	OK	-45,3	0,0	184,5	-3905,5	0,22	60303,2	0,19
59	OK	-36,0	0,0	147,0	-3104,3	0,18	47842,1	0,15
60	OK	-94,8	0,0	167,6	-8304,1	0,48	192086,9	0,61
61	OK	-88,1	0,0	128,9	-7719,2	0,44	187184,4	0,59
62	OK	-98,7	0,0	165,8	-8648,8	0,50	202845,2	0,64
63	OK	-76,7	0,0	179,9	-6707,1	0,39	141398,9	0,45
64	OK	-70,0	0,0	141,3	-6129,4	0,35	136273,0	0,43
65	OK	-80,6	0,0	178,1	-7054,4	0,41	152085,6	0,48
66	OK	-94,8	0,0	167,6	-8304,1	0,48	192086,9	0,61
67	OK	-76,7	0,0	179,9	-6707,1	0,39	141398,9	0,45
68	OK	-70,8	0,0	91,3	-6203,4	0,36	154454,2	0,49
69	OK	-52,7	0,0	103,6	-4615,3	0,27	103479,1	0,33

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:**

Valori limite:

Fessure:  $W_{kL} = 0,30$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$W_k$	$W_k/W_{kL}$	
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm		
34	OK	-53,0	0,0	183,7	0.08	0,28
35	OK	-49,0	0,0	143,4	0.09	0,29
36	OK	-64,6	0,0	179,2	0.12	0,39
37	OK	-57,4	0,0	140,5	0.11	0,36
38	OK	-67,9	0,0	177,4	0.13	0,42
44	OK	-78,6	0,0	175,7	0.16	0,52
45	OK	-46,4	0,0	102,9	0.09	0,31

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 13050,0$  kN/mq (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Fessure:  $W_{kL} = 0,15$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
39 OK	-40,0	0,0	161,4	-3448,3	0,26	0.06	0,38
40 OK	-33,4	0,0	135,1	-2883,2	0,22	0.05	0,31
41 OK	-65,5	0,0	157,3	-5729,8	0,44	0.13	0,84
42 OK	-60,5	0,0	130,3	-5291,3	0,41	0.12	0,81
43 OK	-67,9	0,0	156,1	-5935,1	0,45	0.13	0,88
70 OK	-34,4	0,0	109,2	-2994,9	0,23	0.06	0,38
71 OK	-42,8	0,0	106,4	-3741,7	0,29	0.08	0,54
72 OK	-27,0	0,0	109,2	-2325,0	0,18	0.04	0,25
73 OK	-50,3	0,0	106,4	-4400,0	0,34	0.10	0,67
74 OK	-39,9	0,0	106,4	-3483,1	0,27	0.07	0,49

### 9.3.2.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

$V_{sdu}$	132.6	kN
$M_{sdu}$	103	kNm
$N_{sdu}$	133	kN
$M_o$	7.908	kNm
Rck	35	N/mm <sup>2</sup>
fyk	450	N/mm <sup>2</sup>
bw	100	cm
d	27.6	cm
$\delta$	1.077	
r	1.324	m
Asl	15.7	cm <sup>2</sup>
c	8.4	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
Asw	1.96	cm <sup>2</sup>
passo staffe	40	cm
fcd	18.156	N/mm <sup>2</sup>
fctd	1.263	N/mm <sup>2</sup>
fyd	391.304	N/mm <sup>2</sup>
$\rho$	0.0057	
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
VRd1	159.526	kN
VRd2	1503.338	kN

La verifica è soddisfatta senza necessità di armatura a taglio.

## 10 GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI

In questo capitolo viene riportato un calcolo esemplificativo manuale, eseguito tramite criteri tradizionali, attraverso il quale è possibile stimare con semplici calcoli i valori di sollecitazione flettente agenti all'interno dello scatolare. In particolare si è deciso di operare il confronto tra il valore ottenuto da codice di calcolo e manuale di momento flettente presente nella sezione di mezzeria della soletta superiore dello scatolare.

Il confronto è stato condotto analizzando la combinazione di carico 46 in combinazione rara, visibile nella tabella di paragrafo 8.1.

Si riporta nel seguito il calcolo manuale semplificato eseguito per i differenti casi di carico del momento flettente nella sezione di mezzeria della soletta superiore:

- CDC 1-Peso Proprio (paragrafo 7.3.1):  $M = q l^2 / 14 = 8.75 \cdot 3.35^2 / 14 = 7 \text{ kNm}$
- CDC 2-Peso Sovrastruttura Stradale (paragrafo 7.3.1):  $M = q l^2 / 14 = 40 \cdot 3.35^2 / 14 = 32.1 \text{ kNm}$
- CDC5-Spinta attiva piedritto sinistro (paragrafo 7.3.2):  $M =$  trascurabile nella sezione in oggetto
- CDC6-Spinta attiva piedritto destro (paragrafo 7.3.2):  $M =$  trascurabile nella sezione in oggetto
- CDC7-Spinta acqua interna (paragrafo 7.3.2):  $M =$  trascurabile nella sezione in oggetto
- CDC8-Q1k centrato (paragrafo 7.3.4):  $M = M = q l^2 / 14 = 40.27 \cdot 3.35^2 / 14 = 32.28 \text{ kNm}$
- CDC26-Termica uniforme (paragrafo 7.3.7):  $M =$  trascurabile nella sezione in oggetto
- CDC27-Termica farfalla+ (paragrafo 7.3.7):  $M = E I \alpha \Delta T / h = 33720000 \cdot 3.57 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-5} \cdot 5 / 0.35 = 17.21 \text{ kNm}$
- CDC28-Ritiro (paragrafo 7.3.8): trascurabile nella sezione in oggetto

Si ottiene in definitiva un momento complessivo pari a  $M_{\text{rara}} = 88.57 \text{ kNm}$ , che risulta di poco inferiore a quello calcolato tramite software e pari a  $M_{\text{rara}} = 95.8 \text{ kNm}$ , valore riscontrabile nella tabella riassuntiva riferita a Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare di paragrafo 9.1.2.1.

Il confronto tra i valori di sollecitazione ottenuti con codice di calcolo e ricavati manualmente ha fornito esito positivo e di conseguenza si ritengono accettabili i risultati ottenuti tramite codice di calcolo automatico.

## 11 VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

### 11.1 SEZIONE SCATOLARE

Ai fini della verifica della portanza del terreno di fondazione non si ritengono significativi gli squilibri dovuti a spinte orizzontali non simmetriche o ad azioni orizzontali applicate alla sommità dello scatolare quali, frenatura ed eventuale sisma.

La valutazione della pressione trasmessa dall'opera al terreno di fondazione viene condotta con riferimento ad una porzione di scatolare di larghezza unitaria.

Si noti che in questo modo si procede a favore di sicurezza, infatti per quanto riguarda le pressioni sul terreno di fondazione i carichi mobili in realtà si ripartiscono su una larghezza molto maggiore grazie alla notevole rigidità che presenta l'opera nel suo complesso (soletta superiore, soletta inferiore, pareti laterali).

La verifica relativa alla portanza del terreno di fondazione viene condotta sia in condizione di costruzione dell'opera (in assenza di sovrastrutture e rinterri), sia in condizione di esercizio (dopo l'esecuzione dei rinterri e delle sovrastrutture) considerando o i soli carichi permanenti, o anche i sovraccarichi accidentali.

Si riporta di seguito una tabella nella quale sono evidenziati gli sviluppi di calcolo che portano alla valutazione della pressione sul terreno sotto le ipotesi prima riportate.

Relativamente ai carichi mobili sulla soletta superiore si fa riferimento ai seguenti carichi:

Carico completo  $q_{1.a} = 600 \text{ kN}$

Colonna di carico  $q_{1.b} = 30 \text{ kN/m}$

a) Peso struttura	=	$((L+2*s_p)*s_s+(b+2*s_p+2*s)*s_r+2*s_p*h)*\gamma_{cls}$	= 103,25 kN
b) Peso sovrastruttura stradale	=	$(b+2*s_p+2*s)*H_r*\gamma_{rl}$	= 164,00 kN
c) Peso terreno sbalzi	=	$2*s*(h+s_s)*\gamma_t$	= 18,80 kN
d) Risultante sovraccarico mezzi	=	$Q_{1k}/L_{dtmax}$	= 140,95 kN
peso in fase di costruzione	=	$P_c = P_s$	= 103,25 kN
pressione media sul terreno in fase di costruzione	=	$P_c/(L+2*s_p+2*s)$	= 25,18 kPa
peso permanente in esercizio	=	$P_e$	= 286,05 kN

pressione media sul terreno da carichi permanenti in esercizio =  $P_e / (L + 2 \cdot s_p + 2 \cdot s_s)$  = 69,77 kPa

risultante permanenti ed accidentali  $P = P_e + Q_s + Q_i$  = 427,00 kN

pressione totale media sul terreno in esercizio  $P / (L + 2 \cdot s_p + 2 \cdot s_s)$  = 104,15 kPa

La verifica di capacità portante verrà eseguita considerando la caratterizzazione del terreno fornita dal progettista geotecnico.

Lungo lo sviluppo del tracciato si incontrano diverse tipologie di terreno, elencate di seguito:

Unità	eventuale discretizzazione nell'unità (con la profondità del banco)		Peso naturale di volume	c'	$\varphi$	Cu	E <sub>v</sub>	E <sub>op</sub> (E <sub>o</sub> /10)
	prof. da p.c.	prof. da p.c.						
	m	m						
G1 <sub>sx</sub>	0	15	19.0÷20.5	0	40÷46 (41)	-	500÷850	50-85
	15	-->		0	38÷43 (40)	-	850÷1100	85-110
L <sub>sx</sub>	-		19.0÷20.5	0÷5	20÷30	30÷80 (50)	100÷200	10-20
A <sub>sx</sub>	-		19.5÷20.5	5÷20	25÷30	80÷140 (110)	800÷1200	80-100
G2 <sub>sx/dx</sub>	-		19.0÷19.8	0	38÷43 (41)	-	1400÷2000	120-150
L <sub>dx</sub>	0	10	19.5÷20.5	5÷15	25÷30	40÷140 (70)	100÷150	10-15
	10	-->				40÷100 (80)		
A1 <sub>dx</sub>	1	8	18.5÷20.0	10÷25	18÷28	40÷120 (80)	100÷200	10-20
	8	10				80÷150 (100)	250÷400	25-40
	10	-->				40÷100 (80)	200÷250	20-25
G1 <sub>dx</sub>	-		19.5÷20.0	0	39÷44 (42)	-	600÷900	60-90
S <sub>dx</sub>	15	18	18.5÷20.0		31÷38 (34)		250÷500	25-50
	18	25	18.5÷20.0		34÷39 (36)			
	25	-->	20.0		38÷40 (38)			
A2 <sub>dx</sub>	-		19.5÷20.0	15÷25	22÷26	80÷160 (110)	800÷1200	80-100

Il calcolo verrà eseguito a favore di sicurezza considerando il terreno avente le caratteristiche di portanza più scadenti tra quelle elencate, definito dalla tipologia L<sub>sx</sub>.

La verifica viene condotta, conformemente a quanto prescritto dalla normativa, sia in condizioni non drenate che in condizioni drenate.

Di seguito si riportano le verifiche eseguite.

### 11.1.1 VERIFICA IN CONDIZIONI NON DRENATE

DATI DI INPUT	
Larghezza della fondazione	4,10 m
Lunghezza della fondazione	1,00 m
Rapporto tra le lunghezze	0,24
Inclinazione della base	0,00 °
Sforzo normale	427,00 kN
Taglio in direzione larghezza	0,00 kN
Taglio in direzione lunghezza	0,00 kN
Mom. flett. in direzione larghezza	0,00 kNm
Mom. flett. in direzione lunghezza	0,00 kNm
Coesione non drenata	50,00 kPa
Pressione in superficie	0,00 kPa
Peso specifico totale del terreno latistante la fondazione	20,00 kN/mc
Approfondimento della fondazione	4,70 m
Pressione al piano di posa delle fondazioni	94,00 kPa
Eccentricità in direzione larghezza	0,00 m
Eccentricità in direzione lunghezza	0,00 m
Larghezza ridotta	4,10 m
Lunghezza ridotta	1,00 m
Coefficiente di sicurezza	<b>2,50</b>
Inclinazione fondazione	0,00 °
Inclinazione piano campagna	0,00 °

RISULTATI		
	<b>Termine di coesione</b>	<b>Termine di profondità</b>
$q_{lim} = c_u N_c s_c i_c b_c g_c + q$	$c_u = 50,00$	$q = 94,00$
<b>Fattori di :</b>		
capacità portante	<b>Nc =</b>	5,14
<b>Fattori correttivi:</b>		
forma	<b>sc =</b>	1,00
incl. del carico	<b>ic =</b>	1,00
incl. della fondazione	<b>bc =</b>	1,00
incl. piano campagna	<b>gc =</b>	1,00
<b>Termini complessivi di :</b>		
Coesione		<b>257,08</b>
Profondità		<b>94,00</b>
Pressione media (N/A') =	104,1463	kPa
Pressione limite=	351,080	kPa
<b>Pressione ammissibile: P<sub>lim</sub> / FS =</b>	<b>140,432</b>	<b>kPa</b>

Essendo la pressione ammissibile maggiore della pressione media, la verifica risulta soddisfatta.

**11.1.2 VERIFICA IN CONDIZIONI DRENATE**
**DATI DI INPUT**

Larghezza della fondazione	B	4,10 m
Lunghezza della fondazione	L	1,00 m
Rapporto tra le lunghezze	B/L	0,24
Approfondimento della fondazione	D	4,70 m
Inclinazione della base		0,00 °
Sforzo normale		427,00 kN
Taglio in direzione larghezza		0,00 kN
Taglio in direzione lunghezza		0,00 kN
Mom. flett. in direzione larghezza		0,00 kNm
Mom. flett. in direzione lunghezza		0,00 kNm
Angolo di attrito del terreno		28,00 °
Coesione drenata		2,50 kPa
Peso specifico totale del terreno $\gamma$		20,00 kN/m <sup>3</sup>
Profondità della falda da p.c. $Z_f$		1,37 m
Distanza quota di falda - piano di imposta fondazione $Z_w$		0,00 m
Peso specifico di calcolo $\gamma'_c$		10,00 kN/m <sup>3</sup>
Pressione in superficie		0,00 kPa
Peso specifico del terreno latistante $\gamma_{lat}$		20,00 kN/m <sup>3</sup>
Pressione al piano di posa delle fondazioni		94,00 kPa
Eccentricità in direzione larghezza		0,00 m
Eccentricità in direzione lunghezza		0,00 m
Larghezza ridotta		4,10 m
Lunghezza ridotta		1,00 m
Coefficiente di sicurezza		<b>2,50</b>
Inclinazione piano campagna		0,00 °

**RISULTATI**

Termine di superficie		Termine di coesione		Termine di profondità	
$0.5 \cdot \gamma' \cdot B'$	= 20,50	$c' =$	2,50	$q' =$	94,00

<b>Fattori di :</b>	<b>Ny =</b>	16,72	<b>Nc =</b>	25,80	<b>Nq =</b>	14,72
capacità portante	<b>sy =</b>	1,00	<b>sc =</b>	1,00	<b>sq =</b>	1,00
forma	<b>dy =</b>	/	<b>dc =</b>	1,27	<b>dq =</b>	1,26
approfondimento						
<b>Fattori correttivi di :</b>	<b>iy =</b>	1,00	<b>ic =</b>	1,00	<b>iq =</b>	1,00
incl. del carico	<b>by =</b>	1,00	<b>bc =</b>	1,00	<b>bq =</b>	1,00
incl. della base	<b>gy =</b>	1,00	<b>gc =</b>	1,00	<b>gq =</b>	1,00
incl. piano campagna						

**Termini complessivi di :**

Superficie	<b>342,69</b>
Coesione	<b>82,19</b>
Profondità	<b>1737,13</b>

Pressione media (N/A) =	104,15	kPa
Pressione ammissibile $P_{lim} / FS =$	864,81	kPa

Essendo la pressione ammissibile maggiore della pressione media, la verifica risulta soddisfatta.