

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:

*Il Responsabile di Progetto*  
*Don. 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

*Ing. Pietro Mazzoli*  
Stampa: PIZZAROTTI & C. S.p.A. INGEGNERIA

Titolo Elaborato:

**Viabilità ordinaria e di adduzione all'Autostazione Trecasali - Terre Verdiane  
Tombini Scatolari  
Tombino Scatolare PC-BP-11- 300x220 cm – raccordo S.P. 10 Cispadana – rotatoria  
2A  
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	25	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	RIMISSIONE 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).....	52
9.1	Soletta di fondazione .....	58
9.1.1	Attacco piedritto (asta 11).....	58

9.1.2	Mezzeria (asta 15).....	65
9.2	Piedritti .....	71
9.2.1	Attacco soletta superiore (asta 6).....	71
9.2.2	Attacco soletta inferiore (asta 2) .....	78
10	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI .....	85
11	CALCOLO E VERIFICA DEI MURI AD "U" DI ACCESSO AL TOMBINO.....	86
11.1	Geometria della struttura .....	86
11.2	Condizioni di carico elementari.....	87
11.2.1	Peso permanente della struttura .....	87
11.2.2	Spinta del terreno.....	87
11.2.3	Spinta del terreno in presenza di sovraccarico sul rilevato.....	87
11.2.4	Azione sismica .....	87
11.2.5	Condizioni elementari di carico agenti sulla struttura .....	88
11.3	Combinazioni di carico.....	89
11.4	Verifiche di resistenza ed a fessurazione .....	91
11.5	Calcolo sezione.....	93
11.5.1	Sezione del piedritto all'attacco fondazione.....	95
11.5.2	Sezione di fondazione all'attacco piedritto.....	100
12	VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE.....	105
12.1	Sezione scatolare .....	105
12.1.1	verifica in condizioni non drenate.....	107
12.1.2	verifica in condizioni drenate .....	108
12.2	Muri ad U .....	109

## 1 PREMESSA

La presente relazione riguarda il dimensionamento dello scatolare idraulico e dei muri d'imbocco con sezione trasversale ad U dell'opera denominata "PC-BP-11- 300x220 cm – raccordo S.P. 10 Cispadana – rotatoria 2A", 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 3.00x2.20 e da muri d'ala con sezione trasversale ad "U" di accesso al tombino.

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.

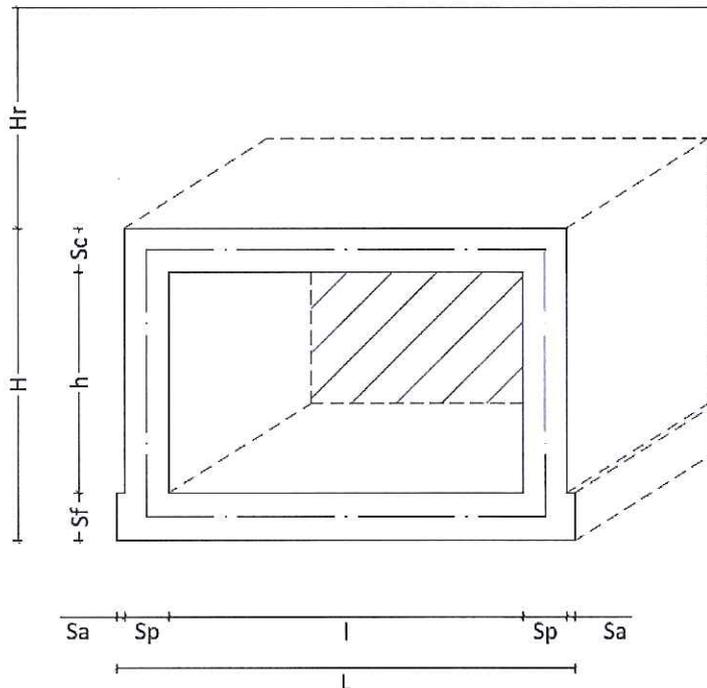
Si sottolinea che il solutore ALGOR SUPERSAP e' stato sottoposto, con esito positivo e relativa certificazione, ai test NAFEMS (test di confronto della National Agency for Finite Element Methods and Standards in Inghilterra).

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:



Il calcolo viene eseguito considerando a favore di sicurezza un'altezza netta interna pari a 2.50m

Dimensioni geometriche (sezione in retto):

L	=	3,00	m
H	=	2,50	m
Hr	=	1,70	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	=	1,67	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.

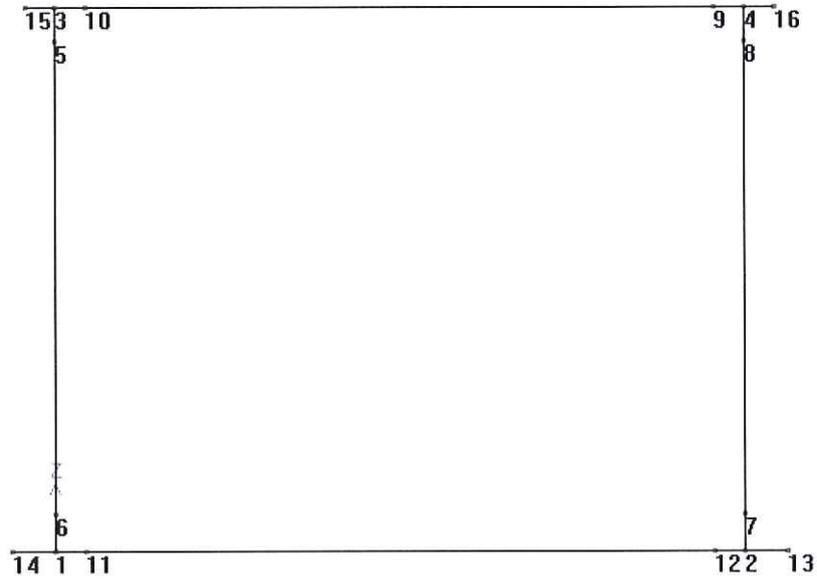


Fig. 2a - Numerazione dei nodi

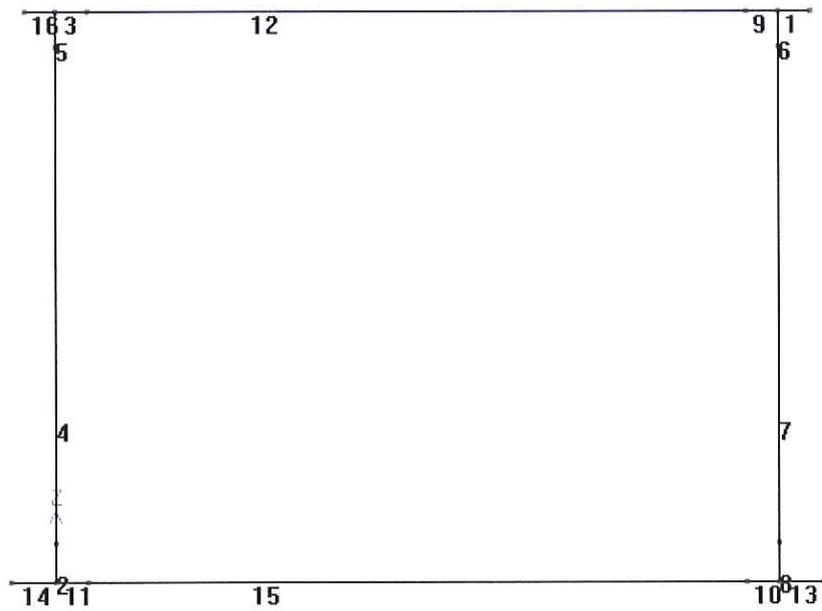


Fig. 2b - Numerazione delle aste

### 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	1,70	*	20,00	=	34,00	kN/m <sup>2</sup>
totale					42,75	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	4,55	*	20,00	=	91,00	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:

$$\begin{aligned}
 p_2 &= [20,00 * 1,70 + 20,00 * 0,175] * 0,426 &= \mathbf{15,99 \text{ kN/m}^2} \\
 p_{12} &= p_2 + [20,00 * 0,175] * 0,426 &= \mathbf{17,48 \text{ kN/m}^2} \\
 p_w &= p_{12} + [20,00 * 0,83] * 0,426 &= \mathbf{24,59 \text{ kN/m}^2} \\
 p_{11} &= p_w + [10,00 * 1,67] * 0,426 + 10,00 * 1,67 &= \mathbf{48,36 \text{ kN/m}^2} \\
 p_1 &= p_{11} + [10,00 * 0,175] * 0,426 + 10,00 * 0,175 &= \mathbf{50,86 \text{ kN/m}^2}
 \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
 p_2 &= [20,00 * 1,70 + 20,00 * 0,175] * 0,271 &= \mathbf{10,16 \text{ kN/m}^2} \\
 p_{12} &= p_2 + [20,00 * 0,175] * 0,271 &= \mathbf{11,11 \text{ kN/m}^2} \\
 p_w &= p_{12} + [20,00 * 0,83] * 0,271 &= \mathbf{15,63 \text{ kN/m}^2} \\
 p_{11} &= p_w + [10,00 * 1,67] * 0,271 + 10,00 * 1,67 &= \mathbf{36,81 \text{ kN/m}^2} \\
 p_1 &= p_{11} + [10,00 * 0,175] * 0,271 + 10,00 * 0,175 &= \mathbf{39,03 \text{ kN/m}^2}
 \end{aligned}$$

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:

$$S_w = 25 \text{ kN/m}^2$$

(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:

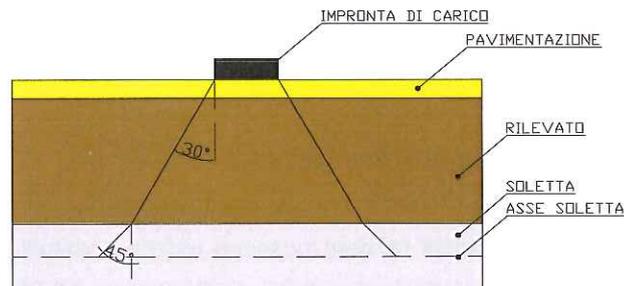
in direzione longitudinale alla strada:

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:

$$L_{dl} = 3.30 + 2 * ( 1.70 * \text{tg}30^\circ + 0,175 ) = 5,61 \text{ m}$$

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:

$$L_{dt} = 2.30 + 2 * ( 1,70 * \text{tg}30^\circ + 0,175 ) = 4,61 \text{ m}$$

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

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

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:

$$Q_{1,a} = 600 * 1,4 / (5,61 * 3,50) = 42,76 \text{ kN/m}^2$$

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

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 ( $L \cdot Ldt$ ), con la seguente relazione:

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

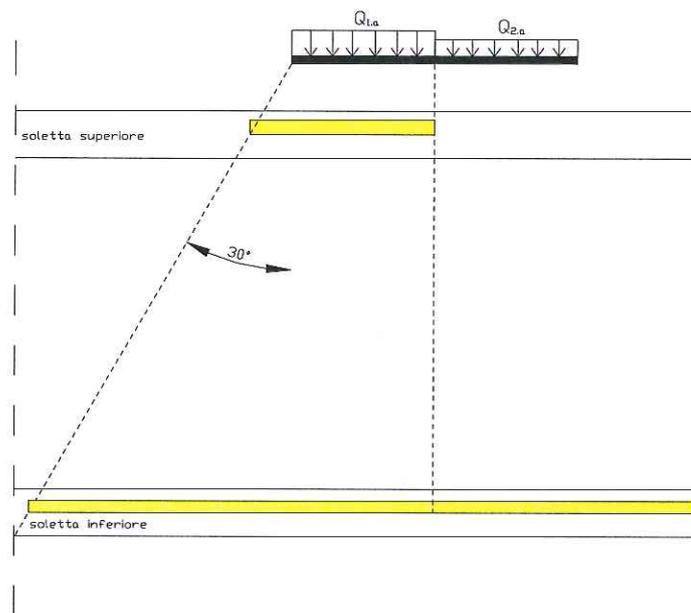
(Condizione Elementare CDC 19)

### 7.3.6 SPINTA DEL SOVRACCARICO SUL RILEVATO

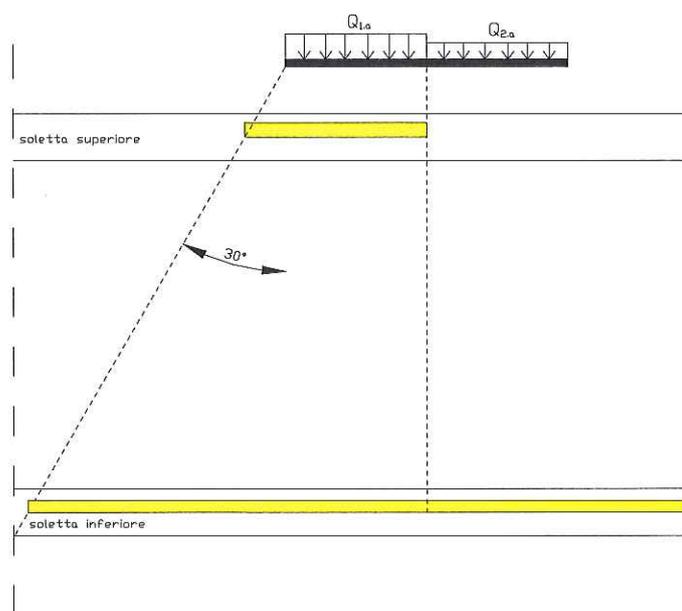
Il calcolo delle spinte generate dal sovraccarico sul rilevato dovuto al  $Q_{1,a}$ , si può considerare applicato lo schema di carico 1, in cui per semplicità i carichi tandem possono essere sostituiti da carichi uniformemente distribuiti equivalenti, applicati su una superficie rettangolare larga 4,28 m e lunga 3,28 m. Anche in questo caso si tiene in conto la diffusione a 30° 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  $600 / (4,28 \cdot 3,28) = 42,71 \text{ kN/m}^2$ .

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):

$$q'_{Q1a,sup} = 13,38 \text{ kN/m}^2 \quad [\text{coeff. di spinta a riposo}]$$

$$q'_{Q1a,inf} = 7,06 \text{ kN/m}^2 \quad [\text{coeff. di spinta a riposo}]$$

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

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

$$q'_{acc20} = 20 * 0,43 = 8,60 \text{ kN/m}^2 \quad [\text{coeff. di spinta a riposo}]$$

Tali spinte vengono considerate nelle seguenti Combinazioni Elementari:

- a) agenti sul piedritto sinistro
- b) 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  $= 2Ac/U$

$Ac$  = 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	34,00	kN/m <sup>2</sup>
Inerzia (permanente + soletta +0%accidentale (P*k <sub>v</sub> ))	5,21	kN/m <sup>2</sup>
<b>Totale</b>	<b>47,96</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

$$H_{i,sol} = 10,42 \text{ kN/m}$$

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  $\Delta F$ :

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

$$\Delta F = 23,888 \text{ kN/m}$$

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=Ggk	(peso proprio della struttura)
2	CDC=Gk	(permanente)
3	CDC=Gk	(Spinta a riposo piedritto sx)
4	CDC=Gk	(Spinta riposo piedritto dx )
5	CDC=Gk	(Spinta attiva piedritto sx)
6	CDC=G1k	(Spinta attiva piedritto dx)
7	CDC=Qk	(Spinta acqua interna)
8	CDC=Qk	(Q1a centrato)
9	CDC=Qk	(Q1a a filo piedritto dx)
10	CDC=Qk	(Q1a a filo piedritto sx)
11	CDC=Qk	(Accidentale Q1a a L/4 su soletta)
12	CDC=Qk	(Accidentale 20kN/mq)
13	CDC=Qk	(Accidentale su piedritto sx (Q1a))
14	CDC=Qk	(Accidentale su piedritto dx(Q1a))
15	CDC=Qk	(Accidentale (q1b) su piedritto sx)
16	CDC=Qk	(Accidentale (q1b) su piedritto dx)
17	CDC=Qk	(Accidentale 20kPa su piedritto sx)
18	CDC=Qk	(Accidentale 20kPa su piedritto dx)
19	CDC=Qk	(frenatura)
20	CDC=Qk	(acc sol inf campata dx)
21	CDC=Qk	(acc sol inf campata sx)
22	CDC=Qk	(acc sol inf campata dx-sx)
23	CDC=Qk	(sisma orizzontale)
24	CDC=Qk	(sisma verticale)
26	CDC=Qk	(Termica uniforme)
27	CDC=Qk	(At farfalla)
28	CDC=Qk	(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	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1
A II	1	1	1( $\beta_1$ )	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	1	0	0,2	0	1	1	1
A IV	1	1	1( $\beta_1$ )	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	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>STATI LIMITE DI ESERCIZIO PESSURAZIONE</i>																	
F I	1	1	1( $\beta_1$ )	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	1	$\psi_1$	$\Psi_1$	0	0	0	0	0	0	0
F III	1	1	1( $\beta_1$ )	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)	1,2(0)	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)	1,2(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)	1,2(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)	1,2(0)	1,5	1,5	0	1,5	0,3	1,5	1,5		

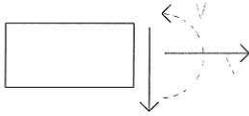
$\beta_1 = 0,7$  per spinta delle terre  
 $\beta_2 = 0,5$  per spinta delle terre

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.ta 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.

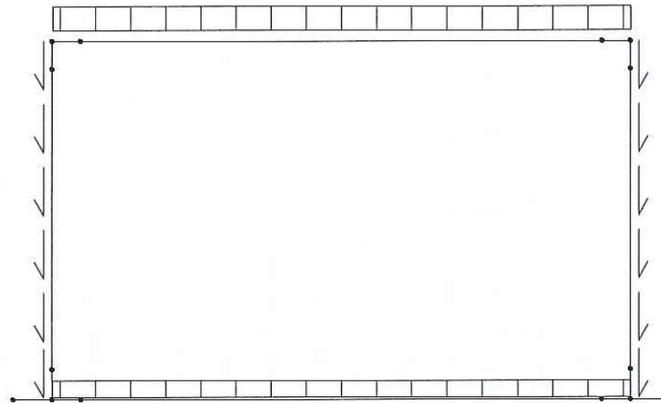
La tabella seguente, riportata per esteso tutte le combinazioni di carico adottate ai fini del dimensionamento della struttura, rispettivamente per le condizioni di carico allo SLU e SLE , come previsto dal DM90 e dal DM96.

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:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
	peso proprio	Formaccioli portati	Spina a riposo prefinito PR	Spina a riposo prefinito ca	Spina attiva prefinita sv	Spina attiva prefinita dr	Spina scava interna	CAZ cemento	CAZ filo prefinito dx	CAZ filo prefinito sv	CAZ + LA	Accidente 20 sp	Accidente sv prefinito PR	Accidente sv prefinito dr	Accidente 20 sp prefinito sv	Accidente 20 sp prefinita dx	Accidente 20 sp prefinita sv	Accidente 20 sp prefinita dx	Frenatura	Accidente inf. Col dx	Accidente inf. Col sv	Accidente inf. Col dexa	Spina orientale	Spina verticale	Spina disinfiamm	Termica uniforme	Termica vertica *	altro
1	1.5	1.5	0	0	1	1	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
2	1.5	1.5	0	0	1	1	1.5	1.5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
3	1.5	1.5	0	0	1	1	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
4	1.5	1.5	0	0	1	1	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
6	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
7	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
8	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
9	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
10	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
11	1.5	1.5	0	0	1	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
12	1.5	1.5	0	0	1	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
13	1.5	1.5	0	0	1	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
14	1.5	1.5	0	0	1	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
15	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
16	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
17	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
18	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
19	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
20	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
21	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
22	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
23	1	1	1.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
24	1	1	1.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
25	1.5	1.5	1.5	0	0	1	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0
26	1.5	1.5	1.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0
27	1.5	1.5	1.5	0	0	1	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2	-1.2	1.2
28	1.5	1.5	1.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2	-1.2	1.2
29	1.5	1.5	1.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	1.2	-1.2	1.2
30	1	1	1.5	1.5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	1.5	1.5	0	0	1.5	0	0	1.5	0	0	0	1.2	-1.2	1.2
31	1	1	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0	0	0	1.2	-1.2	1.2
32	1	1	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0	0	0	1.2	-1.2	1.2
33	1.5	1.5	1.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2
34	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
35	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
36	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
37	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
38	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
39	1	1	0	0	1	1	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
40	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
41	1	1	1	0	0	1	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	1	1	1
42	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
43	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0.7	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
44	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
45	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
46	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
47	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
48	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
49	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
50	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
51	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
52	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
53	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
54	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
55	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
56	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
57	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
58	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
59	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
60	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
61	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
62	1	1	1	0	0	1</																						

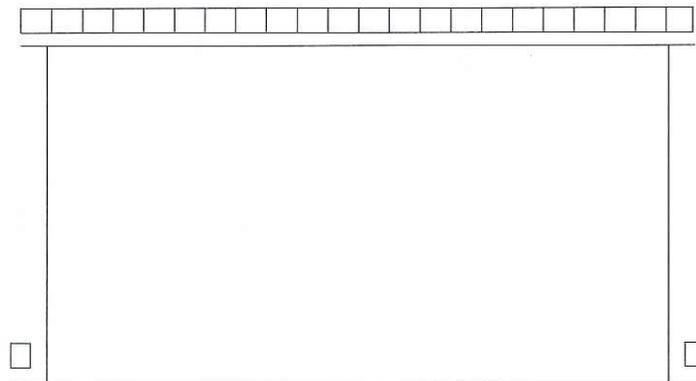
## 8.2 SCHEMI DI CARICO

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC1*



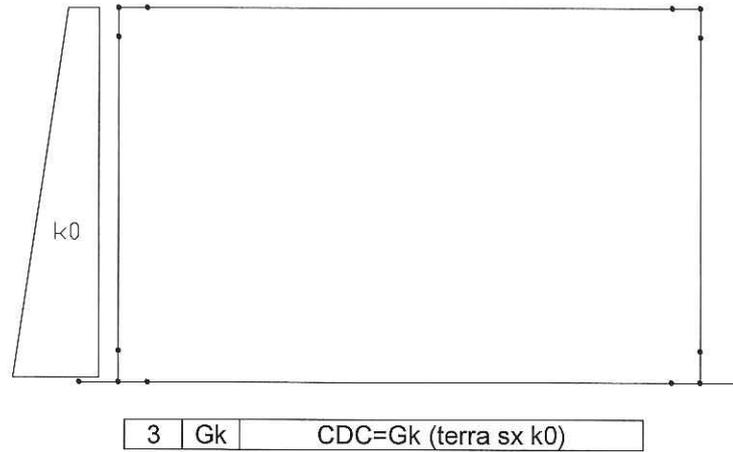
1	G <sub>gk</sub>	CDC=G <sub>gk</sub> (peso proprio della struttura)
---	-----------------	--

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC2*

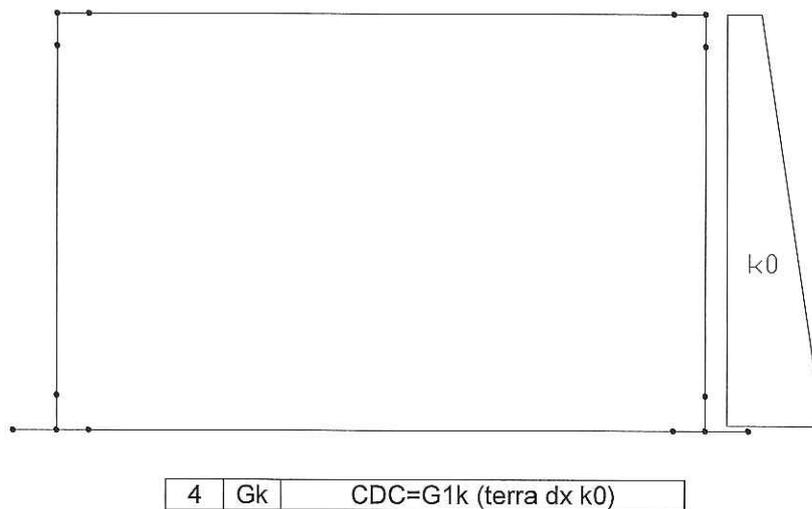


2	G <sub>k</sub>	CDC=G <sub>k</sub> (Carichi permanenti)
---	----------------	---

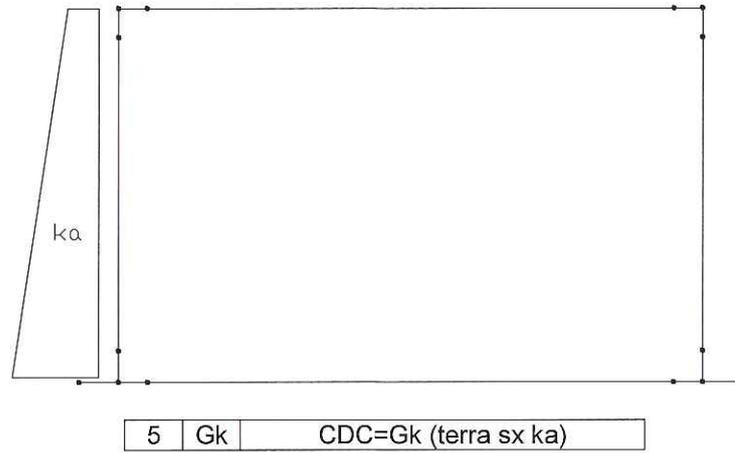
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC3*



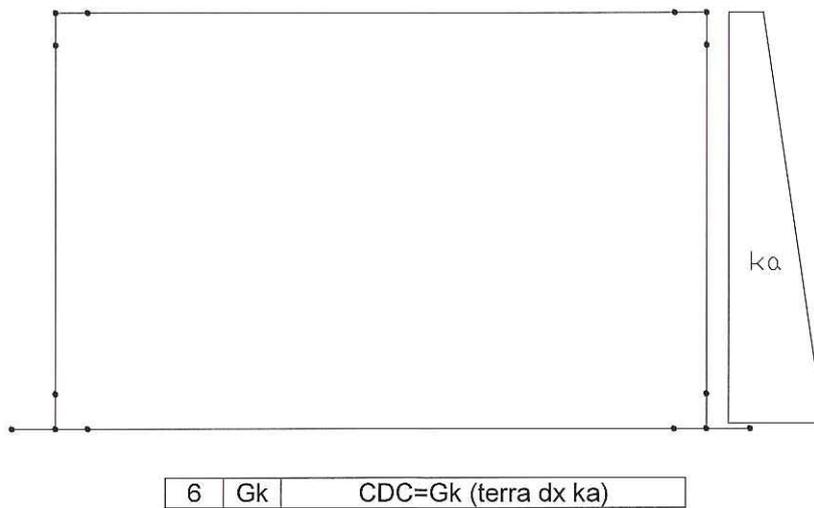
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC4*



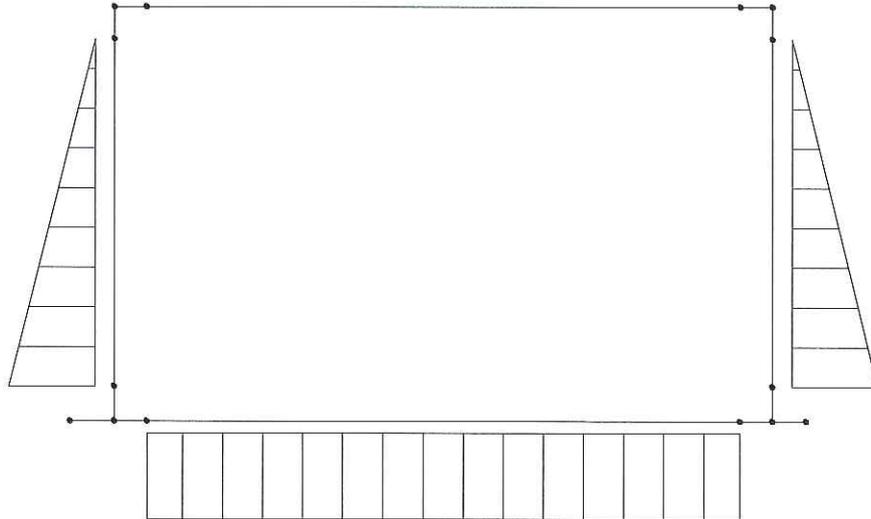
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC5*



SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC6*

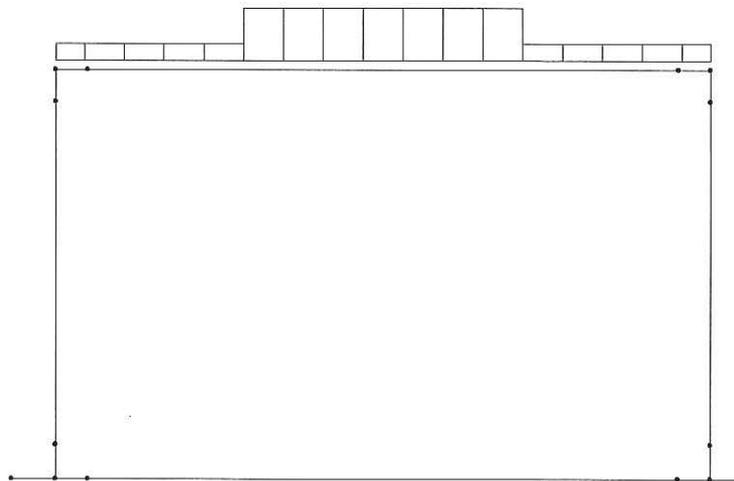


SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC8*



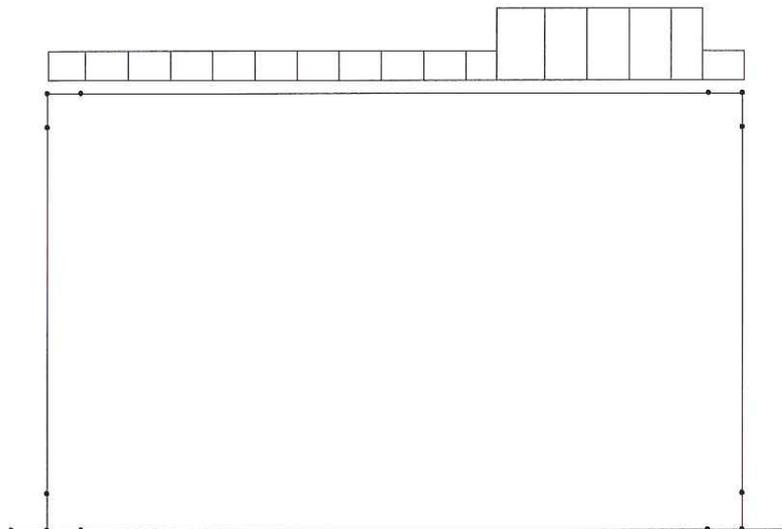
7	Gk	CDC=Gk (spinta idraulica interna)
---	----	-----------------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC8*



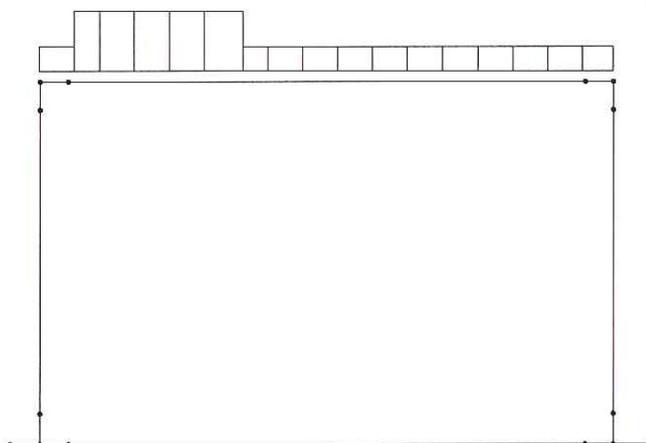
8	Qk	CDC=Qk (Q1a centrato)
---	----	-----------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC9*



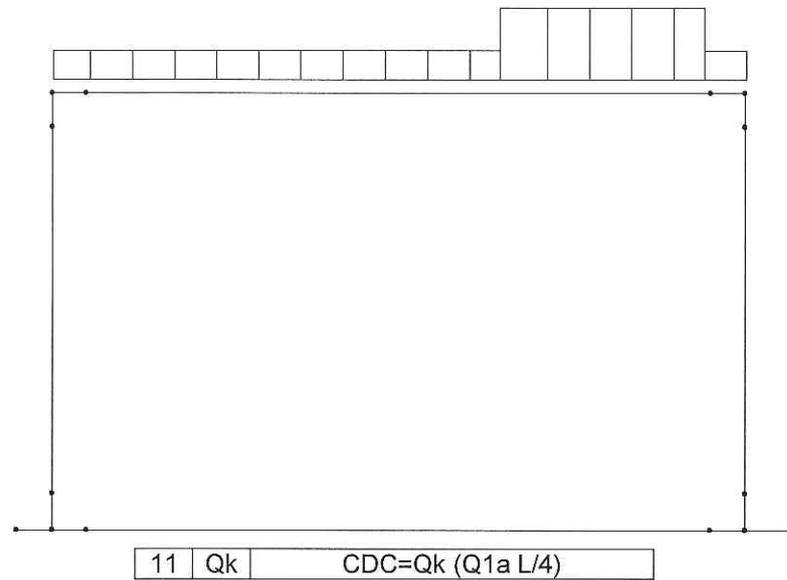
9	Qk	CDC=Qk (Q1a piedritto dx)
---	----	---------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC10*

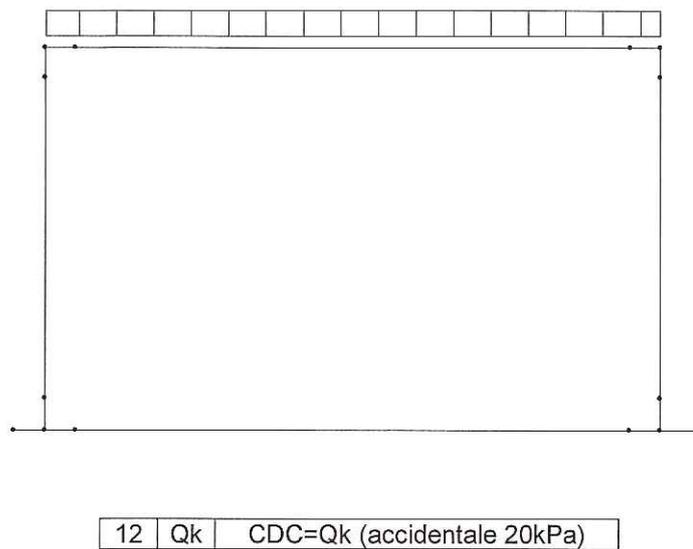


10	Qk	CDC=Qk (Q1a piedritto sx)
----	----	---------------------------

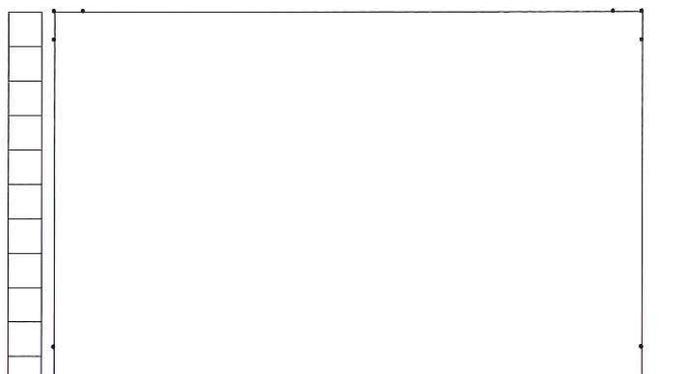
SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC11



SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC12

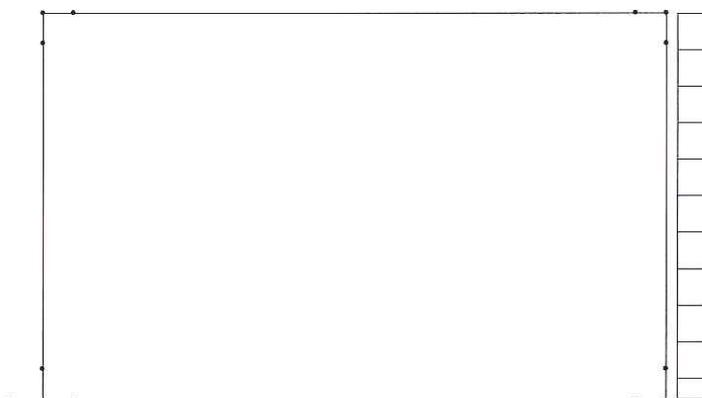


SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC13*



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

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC14*



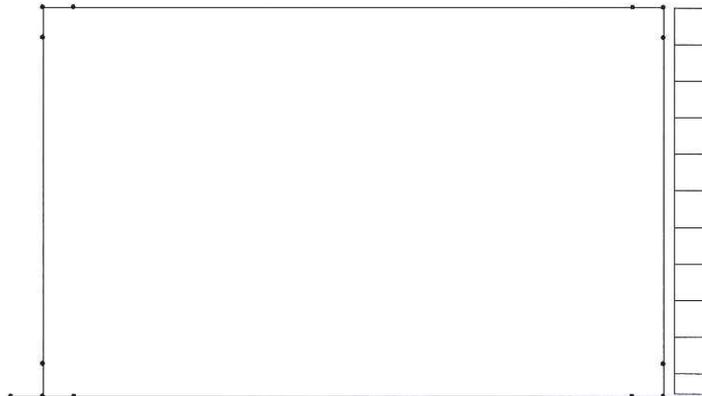
14	Qk	CDC=Qk (Q1k dx)
----	----	-----------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC15*



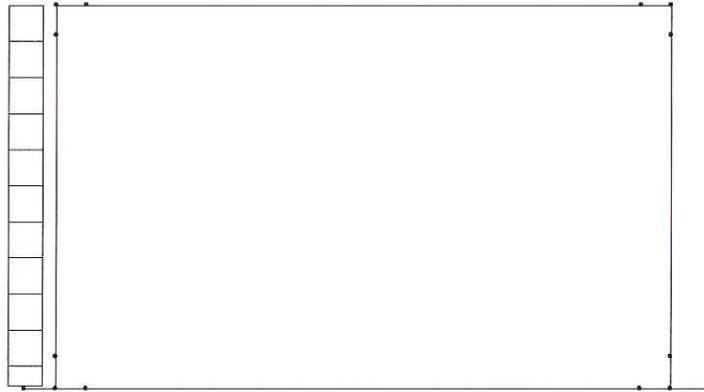
15	Qk	CDC=Qk (q1b a sx)
----	----	-------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC16*



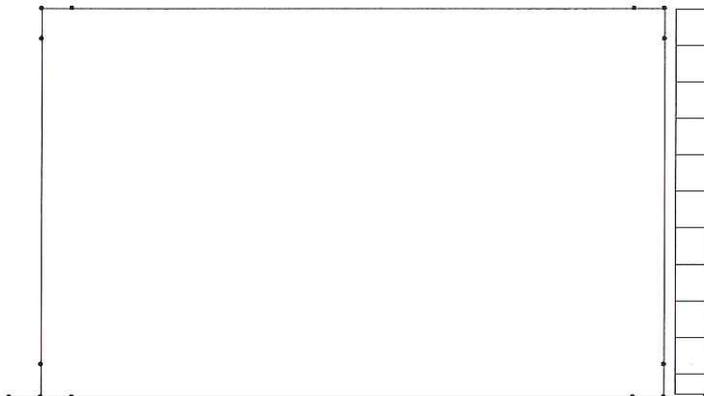
16	Qk	CDC=Qk (q1b a dx)
----	----	-------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC17*



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

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC18*



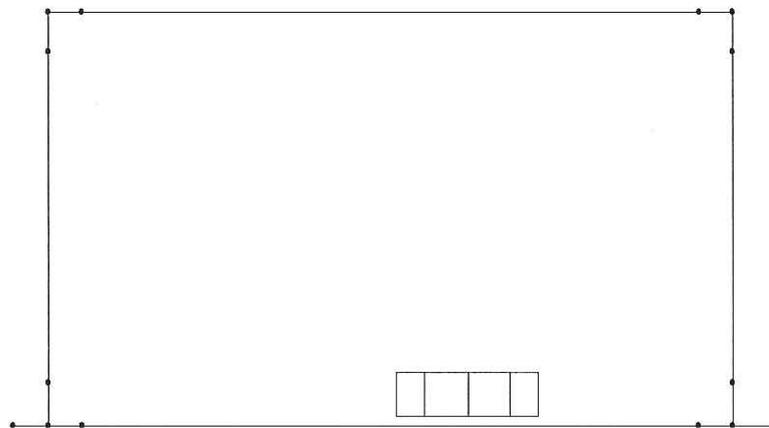
18	Qk	CDC=Qk (20kPa dx)
----	----	-------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC19*



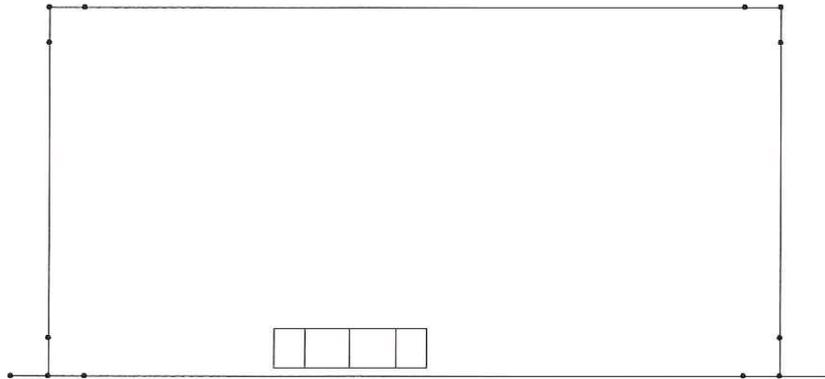
19	Qk	CDC=Qk (Frenatura)
----	----	--------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC20*



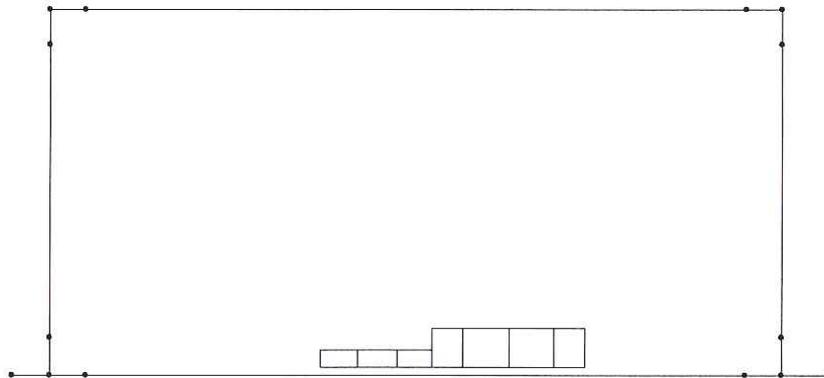
20	Qk	CDC=Qk (Accidentale inferiore dx)
----	----	-----------------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC21*



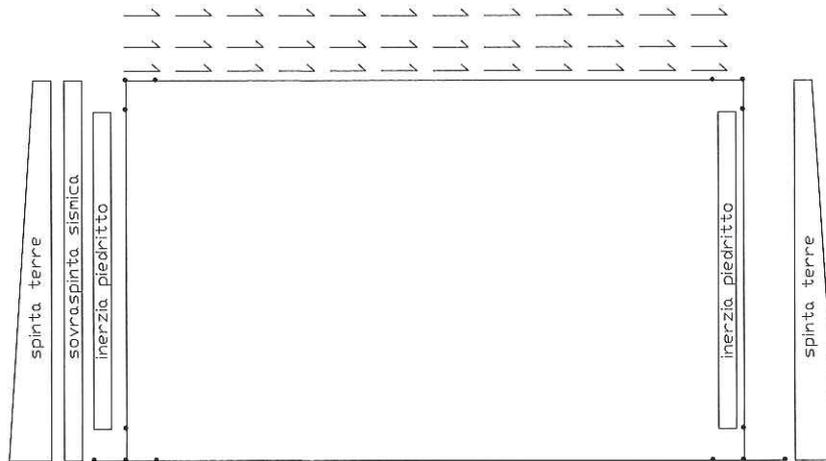
21	Qk	CDC=Qk (Accidentale inferiore sx)
----	----	-----------------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC22*



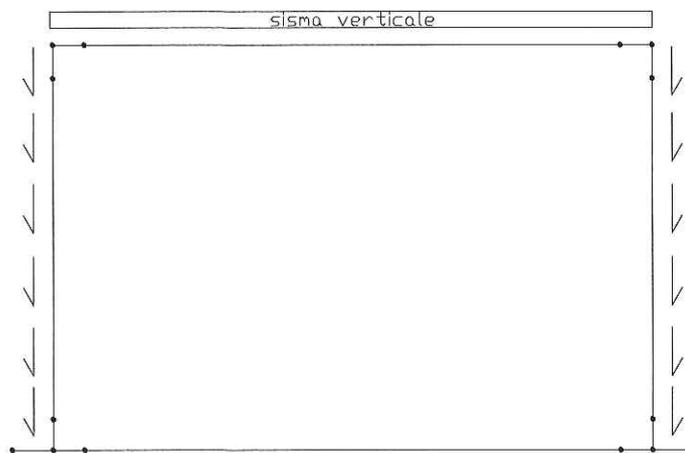
22	Qk	CDC=Qk (Accidentale inferiore dx-sx)
----	----	--------------------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC23



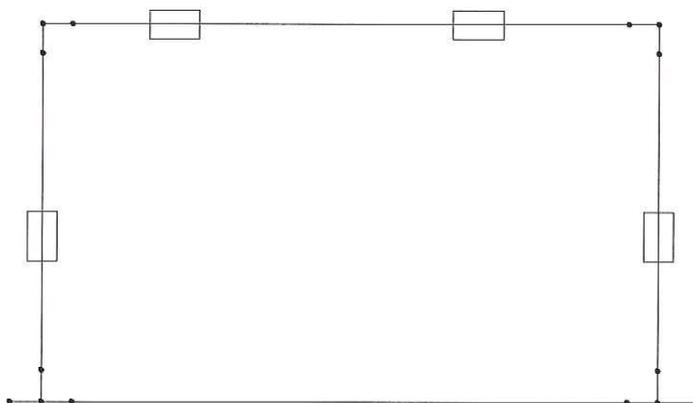
23	Qk	CDC=Qk (Sisma orizzontale)
----	----	----------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC24



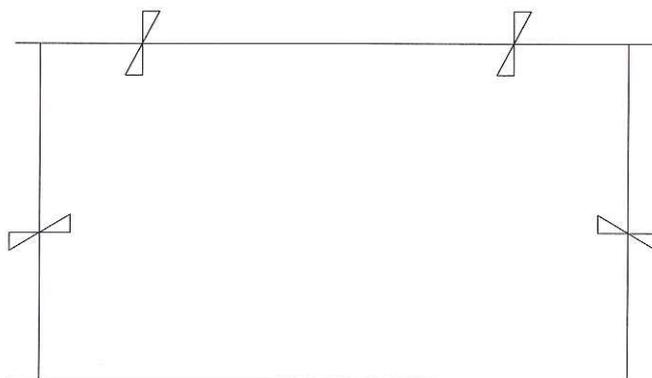
24	Qk	CDC=Qk (Sisma verticale)
----	----	--------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC26*



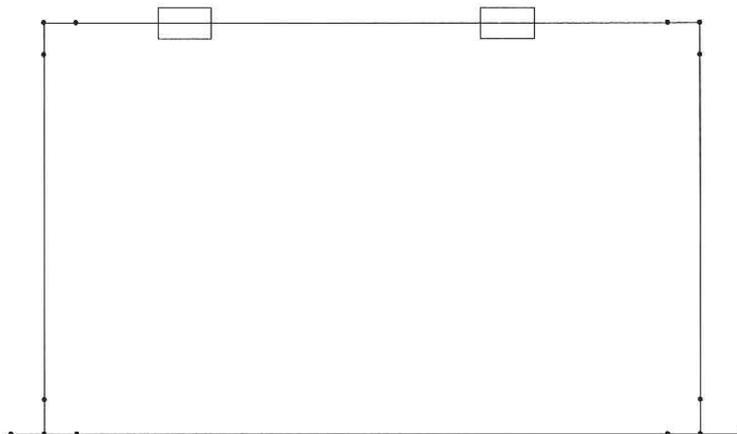
26	Qk	CDC=Qk (Termica uniforme)
----	----	---------------------------

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO *CDC27*



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

SCHEMA DELLA CONDIZIONE DI CARICO CDC28



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

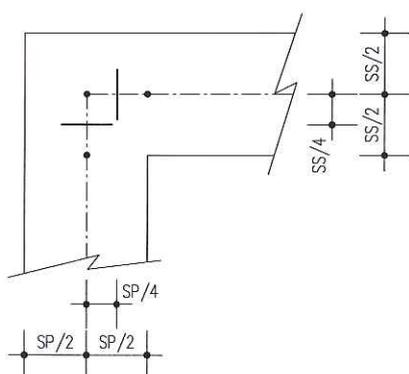
## 9 VERIFICHE DI RESISTENZA ED A FESSURAZIONE SCATOLARE

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

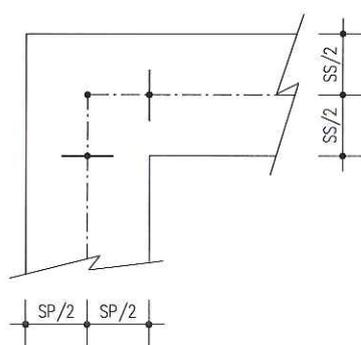
Le verifiche a flessione vengono effettuate rispettivamente:

- 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:

- a) 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.
- b) 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:

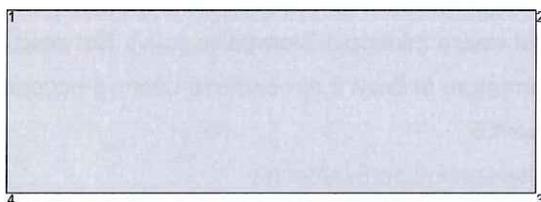
per la condizione QP si verifica che le massime tensioni presenti nel calcestruzzo siano inferiori a  $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ ;

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

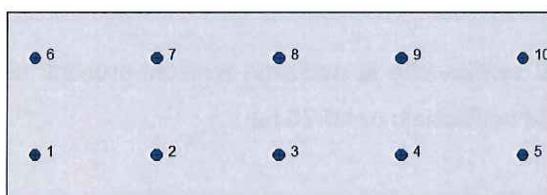
### 9.1.1 ATTACCO PIEDRITTO (ASTA 9)

#### 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	3,1	no
2	27,5	8,5	3,1	no
3	50,0	8,5	3,1	no
4	72,5	8,5	3,1	no
5	95,0	8,5	3,1	no
6	5,0	26,5	3,1	no
7	27,5	26,5	3,1	no
8	50,0	26,5	3,1	no
9	72,5	26,5	3,1	no

10      95,0      26,5      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**

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>

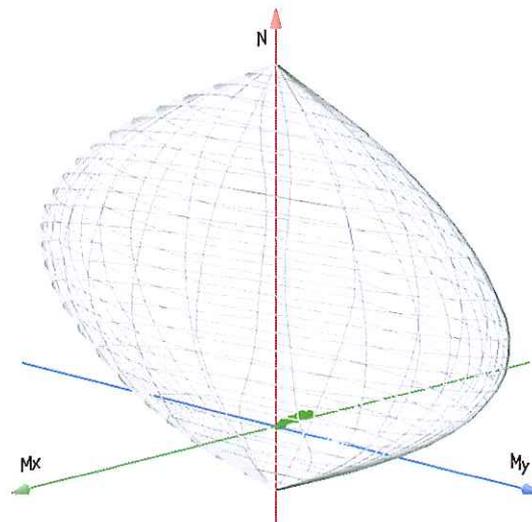
E (modulo elastico) = 2000000 daN/cm<sup>2</sup>

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	0,0	0,0	Completamente tesa
6981,0	0,0	0,0	Completamente compressa
0,0	161,6	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-161,6	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	523,2	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-523,2	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		
1-3,0	-21,9	0,0	P	-22,0	-159,2	0,0	0,140	OK
			M	-1099,0	-21,8	0,0	0,000	
			N	-3,0	-161,2	0,0	0,140	
2-4,2	-8,8	0,0	P	-72,5	-153,8	0,0	0,060	OK
			M	-1178,0	-8,8	0,0	0,000	
			N	-4,2	-161,1	0,0	0,050	
3-3,0	-21,9	0,0	P	-22,0	-159,2	0,0	0,140	OK
			M	-1099,0	-21,8	0,0	0,000	
			N	-3,0	-161,2	0,0	0,140	
4-4,2	-8,8	0,0	P	-72,5	-153,8	0,0	0,060	OK
			M	-1178,0	-8,8	0,0	0,000	
			N	-4,2	-161,1	0,0	0,050	
569,1	-136,9	0,0	P	86,0	-170,5	0,0	0,800	OK
			M	5799,9	-136,8	0,0	0,010	
			N	69,1	-168,8	0,0	0,810	
671,6	-128,5	0,0	P	95,5	-171,4	0,0	0,750	OK
			M	5870,3	-128,4	0,0	0,010	
			N	71,6	-169,0	0,0	0,760	
775,7	-145,6	0,0	P	88,8	-170,8	0,0	0,850	OK
			M	5727,2	-145,5	0,0	0,010	
			N	75,7	-169,4	0,0	0,860	
847,0	-101,4	0,0	P	78,7	-169,7	0,0	0,600	OK
			M	6098,0	-101,3	0,0	0,010	
			N	47,0	-166,5	0,0	0,610	
949,5	-93,0	0,0	P	91,1	-171,0	0,0	0,540	OK
			M	6168,7	-92,9	0,0	0,010	
			N	49,5	-166,8	0,0	0,560	
1053,6	-110,0	0,0	P	83,0	-170,2	0,0	0,650	OK
			M	6025,5	-109,9	0,0	0,010	
			N	53,6	-167,2	0,0	0,660	
1116,3	-34,5	0,0	P	80,3	-169,9	0,0	0,200	OK
			M	6668,5	-34,4	0,0	0,000	
			N	16,3	-163,3	0,0	0,210	
1215,2	-21,4	0,0	P	123,5	-174,3	0,0	0,120	OK
			M	6783,1	-21,4	0,0	0,000	
			N	15,2	-163,2	0,0	0,130	
1316,3	-34,5	0,0	P	80,3	-169,9	0,0	0,200	OK

			M	6668,5	-34,4	0,0	0,000	
			N	16,3	-163,3	0,0	0,210	
1415,2	-21,4	0,0	P	123,5	-174,3	0,0	0,120	OK
			M	6783,1	-21,4	0,0	0,000	
			N	15,2	-163,2	0,0	0,130	
1563,1	-128,3	0,0	P	83,7	-170,2	0,0	0,750	OK
			M	5872,0	-128,2	0,0	0,010	
			N	63,1	-168,2	0,0	0,760	
1665,6	-119,8	0,0	P	93,8	-171,3	0,0	0,700	OK
			M	5943,2	-119,7	0,0	0,010	
			N	65,6	-168,4	0,0	0,710	
1769,7	-136,9	0,0	P	86,9	-170,6	0,0	0,800	OK
			M	5799,9	-136,8	0,0	0,010	
			N	69,7	-168,8	0,0	0,810	
1841,0	-92,7	0,0	P	74,9	-169,4	0,0	0,550	OK
			M	6170,9	-92,7	0,0	0,010	
			N	41,0	-165,9	0,0	0,560	
1943,5	-84,3	0,0	P	88,1	-170,7	0,0	0,490	OK
			M	6241,9	-84,3	0,0	0,010	
			N	43,5	-166,2	0,0	0,510	
2047,6	-101,4	0,0	P	79,8	-169,8	0,0	0,600	OK
			M	6098,0	-101,3	0,0	0,010	
			N	47,6	-166,6	0,0	0,610	
2163,1	-128,3	0,0	P	83,7	-170,2	0,0	0,750	OK
			M	5872,0	-128,2	0,0	0,010	
			N	63,1	-168,2	0,0	0,760	
2241,0	-92,7	0,0	P	74,9	-169,4	0,0	0,550	OK
			M	6170,9	-92,7	0,0	0,010	
			N	41,0	-165,9	0,0	0,560	
2359,9	-64,5	0,0	P	165,9	-178,5	0,0	0,360	OK
			M	6410,5	-64,4	0,0	0,010	
			N	59,9	-167,8	0,0	0,380	
2437,8	-29,0	0,0	P	243,5	-186,3	0,0	0,150	OK
			M	6717,1	-28,9	0,0	0,010	
			N	37,8	-165,6	0,0	0,170	
2561,6	-113,0	0,0	P	93,3	-171,2	0,0	0,660	OK
			M	6000,5	-112,9	0,0	0,010	
			N	61,6	-168,0	0,0	0,670	
2664,1	-104,6	0,0	P	105,7	-172,5	0,0	0,610	OK
			M	6071,0	-104,5	0,0	0,010	
			N	64,1	-168,3	0,0	0,620	
2741,0	-92,7	0,0	P	74,9	-169,4	0,0	0,550	OK
			M	6170,9	-92,7	0,0	0,010	
			N	41,0	-165,9	0,0	0,560	
2843,5	-84,3	0,0	P	88,1	-170,7	0,0	0,490	OK
			M	6241,9	-84,3	0,0	0,010	
			N	43,5	-166,2	0,0	0,510	
2957,4	-71,3	0,0	P	141,8	-176,1	0,0	0,400	OK
			M	6352,3	-71,2	0,0	0,010	
			N	57,4	-167,6	0,0	0,430	
3092,1	-114,1	0,0	P	142,1	-176,1	0,0	0,650	OK
			M	5991,2	-114,0	0,0	0,010	
			N	92,1	-171,1	0,0	0,670	
3198,3	-102,6	0,0	P	171,5	-179,1	0,0	0,570	OK
			M	6087,9	-102,5	0,0	0,020	
			N	98,3	-171,7	0,0	0,600	
32105,4	-116,6	0,0	P	160,9	-178,0	0,0	0,650	OK

			M	5970,3	-116,5	0,0	0,020	
			N	105,4	-172,4	0,0	0,680	
3357,4	-71,3	0,0	P	141,8	-176,1	0,0	0,400	OK
			M	6352,3	-71,2	0,0	0,010	
			N	57,4	-167,6	0,0	0,430	
7537,8	-29,6	0,0	P	236,5	-185,6	0,0	0,160	OK
			M	6711,1	-29,5	0,0	0,010	
			N	37,8	-165,6	0,0	0,180	
7664,3	-94,9	0,0	P	117,7	-173,7	0,0	0,550	OK
			M	6152,6	-94,8	0,0	0,010	
			N	64,3	-168,3	0,0	0,560	
7730,7	-24,3	0,0	P	235,2	-185,5	0,0	0,130	OK
			M	6758,1	-24,2	0,0	0,000	
			N	30,7	-164,8	0,0	0,150	
7859,3	-87,7	0,0	P	117,5	-173,6	0,0	0,500	OK
			M	6213,7	-87,6	0,0	0,010	
			N	59,3	-167,8	0,0	0,520	
7950,9	-52,4	0,0	P	174,2	-179,4	0,0	0,290	OK
			M	6513,4	-52,4	0,0	0,010	
			N	50,9	-166,9	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		
775,7	-145,6	0,0	P	88,8	-170,8	0,0	0,850	OK
3198,3	-102,6	0,0	M	6087,9	-102,5	0,0	0,020	OK
775,7	-145,6	0,0	N	75,7	-169,4	0,0	0,860	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	-12,4	0,0	4,6	-1152,6	0,07	32314,3	0,10
47 OK	-3,7	0,0	3,9	-341,6	0,02	8793,5	0,03
48 OK	-12,4	0,0	4,6	-1152,6	0,07	32314,3	0,10
49 OK	-3,7	0,0	3,9	-341,6	0,02	8793,5	0,03
50 OK	-92,4	0,0	51,4	-8543,4	0,49	234150,9	0,74
51 OK	-86,7	0,0	53,0	-8020,3	0,46	218299,0	0,69
52 OK	-98,1	0,0	55,8	-9073,3	0,52	248286,3	0,79
53 OK	-68,7	0,0	36,6	-6354,0	0,37	174635,5	0,55
54 OK	-63,1	0,0	38,3	-5830,1	0,34	158756,0	0,50
55 OK	-74,4	0,0	41,1	-6884,0	0,40	188770,8	0,60
56 OK	-18,2	0,0	8,6	-1687,7	0,10	46729,9	0,15
57 OK	-9,5	0,0	7,9	-876,2	0,05	23195,8	0,07
58 OK	-18,2	0,0	8,6	-1687,7	0,10	46729,9	0,15
59 OK	-9,5	0,0	7,9	-876,2	0,05	23195,8	0,07
60 OK	-85,1	0,0	46,4	-7875,3	0,45	216150,6	0,69
61 OK	-79,5	0,0	48,0	-7352,3	0,42	200298,4	0,64
62 OK	-90,9	0,0	50,8	-8405,3	0,48	230286,0	0,73
63 OK	-61,4	0,0	31,6	-5685,0	0,33	156608,3	0,50

64	OK	-55,8	0,0	33,3	-5162,0	0,30	140755,5	0,45
65	OK	-67,2	0,0	36,1	-6215,9	0,36	170770,6	0,54
66	OK	-85,1	0,0	46,4	-7875,3	0,45	216150,6	0,69
67	OK	-61,4	0,0	31,6	-5685,0	0,33	156608,3	0,50
68	OK	-40,3	0,0	40,9	-3714,1	0,21	96027,2	0,30
69	OK	-16,7	0,0	26,2	-1523,0	0,09	36545,3	0,12

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

Valori limite:

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

<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>	
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm		
34	OK	-3,5	0,0	13,5	0.01	0,02
35	OK	-5,3	0,0	18,9	0.01	0,03
36	OK	-56,6	0,0	36,6	0.16	0,54
37	OK	-53,9	0,0	38,3	0.15	0,51
38	OK	-62,0	0,0	41,1	0.18	0,59
44	OK	-59,3	0,0	39,7	0.17	0,57
45	OK	-10,1	0,0	26,2	0.02	0,07

### 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  $Wk/WkL < 1$ )

<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b><math>\sigma_c/\sigma_{cL}</math></b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>	
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm		
39	OK	-7,6	0,0	18,1	-683,7	0,05	0,02	0,11
40	OK	-3,6	0,0	17,6	-308,9	0,02	0,00	0,03
41	OK	-44,8	0,0	30,1	-4141,0	0,32	0,13	0,86
42	OK	-42,9	0,0	31,3	-3965,1	0,30	0,12	0,82
43	OK	-48,6	0,0	33,2	-4494,5	0,34	0,14	0,93
70	OK	7,1	0,0	12,1	-648,6	0,05	0,02	0,12
71	OK	-41,5	0,0	31,6	-3829,0	0,29	0,12	0,78
72	OK	-0,1	0,0	17,1	-48,8	0,00	0,00	0,00
73	OK	-34,2	0,0	26,6	-3161,0	0,24	0,10	0,65
74	OK	-0,1	0,0	18,1	-50,6	0,00	0,00	0,00

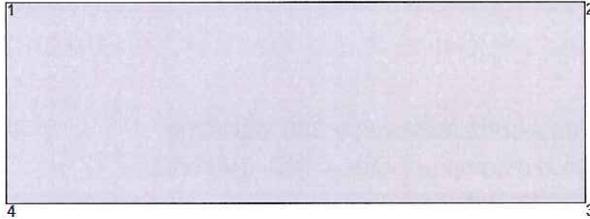
### 9.1.1.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

$V_{sdu}$	232,6	kN
$M_{sdu}$	124,7	kNm
$N_{sdu}$	74,503	kN
$M_0$	4,289	kNm
Rck	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
bw	100	cm
d	26,5	cm
$\delta$	1,034	
r	1,335	m
Asl	15,7	cm <sup>2</sup>
c	8,5	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1,57	rad
Asw	2,82	cm <sup>2</sup>
passo staffe	20	cm
fcd	18,156	N/mm <sup>2</sup>
fctd	1,263	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391,304	N/mm <sup>2</sup>
$\rho$	0,0059	
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
VRd1	149,726	kN
VRd2	1443,422	kN
Asw,min	3,90	cm <sup>2</sup>
passo staffe, max	30,0	cm
<i>verifica con armatura resistente a taglio (staffe)</i>		
VRd2	1443,422	kN
Vcd	207,656	kN
Vwd,min	24,944	kN
Vwd	131,590	kN
VRd3	339,246	kN

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

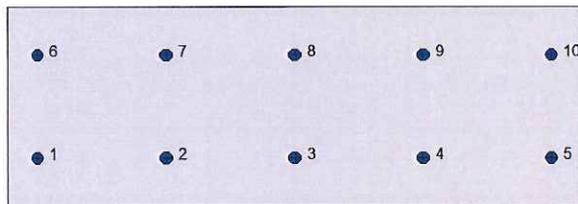
### 9.1.2 MEZZERIA (ASTA 12)

#### 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	3,1	no
2	27,5	8,5	3,1	no
3	50,0	8,5	3,1	no
4	72,5	8,5	3,1	no
5	95,0	8,5	3,1	no
6	5,0	26,5	3,1	no
7	27,5	26,5	3,1	no
8	50,0	26,5	3,1	no
9	72,5	26,5	3,1	no
10	95,0	26,5	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:**

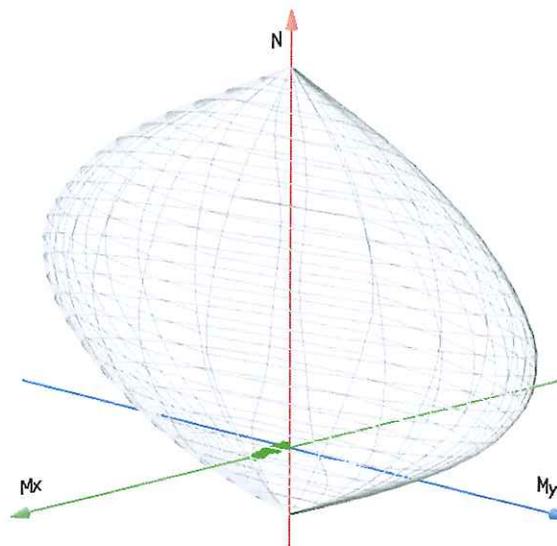
**Calcestruzzo classe: C28/35**

$R_{ck}$  (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 350 daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{ck}$  (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 290 daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{ctm}$  (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>  
 $\nu$  (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**

$f_{yk}$  (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{kt}$  (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>  
 $\nu$  (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	0,0	0,0	Completamente tesa
6981,0	0,0	0,0	Completamente compressa
0,0	161,6	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-161,6	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	523,2	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-523,2	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		
1-3,0	139,7	0,0	P	-3,5	161,2	0,0	0,870	OK
			M	-200,3	139,7	0,0	0,010	
			N	-3,0	161,2	0,0	0,870	
2-4,2	109,8	0,0	P	-6,1	160,9	0,0	0,680	OK
			M	-461,9	109,8	0,0	0,010	
			N	-4,2	161,1	0,0	0,680	
3-3,0	139,7	0,0	P	-3,5	161,2	0,0	0,870	OK
			M	-200,3	139,7	0,0	0,010	
			N	-3,0	161,2	0,0	0,870	
4-4,2	109,8	0,0	P	-6,1	160,9	0,0	0,680	OK
			M	-461,9	109,8	0,0	0,010	
			N	-4,2	161,1	0,0	0,680	
547,0	81,2	0,0	P	99,5	171,8	0,0	0,470	OK
			M	6268,5	81,1	0,0	0,010	
			N	47,0	166,5	0,0	0,490	
649,5	50,5	0,0	P	176,3	179,6	0,0	0,280	OK
			M	6530,7	50,4	0,0	0,010	
			N	49,5	166,8	0,0	0,300	
753,6	79,9	0,0	P	116,5	173,5	0,0	0,460	OK
			M	6279,0	79,9	0,0	0,010	
			N	53,6	167,2	0,0	0,480	
847,0	81,2	0,0	P	99,5	171,8	0,0	0,470	OK
			M	6268,5	81,1	0,0	0,010	
			N	47,0	166,5	0,0	0,490	
949,5	50,5	0,0	P	176,3	179,6	0,0	0,280	OK
			M	6530,7	50,4	0,0	0,010	
			N	49,5	166,8	0,0	0,300	
1053,6	79,9	0,0	P	116,5	173,5	0,0	0,460	OK
			M	6279,0	79,9	0,0	0,010	
			N	53,6	167,2	0,0	0,480	
1116,3	127,1	0,0	P	21,0	163,8	0,0	0,780	OK
			M	5881,9	127,0	0,0	0,000	
			N	16,3	163,3	0,0	0,780	
1215,2	97,2	0,0	P	25,7	164,3	0,0	0,590	OK
			M	6133,5	97,1	0,0	0,000	
			N	15,2	163,2	0,0	0,590	
1316,3	127,1	0,0	P	21,0	163,8	0,0	0,780	OK

			M	5881,9	127,0	0,0	0,000	
			N	16,3	163,3	0,0	0,780	
1415,2	97,2	0,0	P	25,7	164,3	0,0	0,590	OK
			M	6133,5	97,1	0,0	0,000	
			N	15,2	163,2	0,0	0,590	
1541,0	89,9	0,0	P	77,4	169,6	0,0	0,530	OK
			M	6195,2	89,8	0,0	0,010	
			N	41,0	165,9	0,0	0,540	
1643,5	59,1	0,0	P	128,7	174,8	0,0	0,340	OK
			M	6456,1	59,1	0,0	0,010	
			N	43,5	166,2	0,0	0,360	
1747,6	88,6	0,0	P	92,0	171,1	0,0	0,520	OK
			M	6205,8	88,5	0,0	0,010	
			N	47,6	166,6	0,0	0,530	
1841,0	89,9	0,0	P	77,4	169,6	0,0	0,530	OK
			M	6195,2	89,8	0,0	0,010	
			N	41,0	165,9	0,0	0,540	
1943,5	59,1	0,0	P	128,7	174,8	0,0	0,340	OK
			M	6456,1	59,1	0,0	0,010	
			N	43,5	166,2	0,0	0,360	
2047,6	88,6	0,0	P	92,0	171,1	0,0	0,520	OK
			M	6205,8	88,5	0,0	0,010	
			N	47,6	166,6	0,0	0,530	
2141,0	89,9	0,0	P	77,4	169,6	0,0	0,530	OK
			M	6195,2	89,8	0,0	0,010	
			N	41,0	165,9	0,0	0,540	
2241,0	89,9	0,0	P	77,4	169,6	0,0	0,530	OK
			M	6195,2	89,8	0,0	0,010	
			N	41,0	165,9	0,0	0,540	
2337,8	53,3	0,0	P	123,9	174,3	0,0	0,300	OK
			M	6506,5	53,2	0,0	0,010	
			N	37,8	165,6	0,0	0,320	
2437,8	53,3	0,0	P	123,9	174,3	0,0	0,300	OK
			M	6506,5	53,2	0,0	0,010	
			N	37,8	165,6	0,0	0,320	
2539,5	105,1	0,0	P	63,2	168,2	0,0	0,620	OK
			M	6066,8	105,0	0,0	0,010	
			N	39,5	165,8	0,0	0,630	
2642,1	74,4	0,0	P	97,0	171,6	0,0	0,430	OK
			M	6326,0	74,3	0,0	0,010	
			N	42,1	166,0	0,0	0,450	
2741,0	89,9	0,0	P	77,4	169,6	0,0	0,530	OK
			M	6195,2	89,8	0,0	0,010	
			N	41,0	165,9	0,0	0,540	
2843,5	59,1	0,0	P	128,7	174,8	0,0	0,340	OK
			M	6456,1	59,1	0,0	0,010	
			N	43,5	166,2	0,0	0,360	
2935,4	73,3	0,0	P	82,0	170,1	0,0	0,430	OK
			M	6335,2	73,3	0,0	0,010	
			N	35,4	165,3	0,0	0,440	
3070,0	56,1	0,0	P	230,7	185,0	0,0	0,300	OK
			M	6481,7	56,1	0,0	0,010	
			N	70,0	168,9	0,0	0,330	
3176,2	24,6	0,0	P	720,9	232,8	0,0	0,110	OK
			M	6755,0	24,5	0,0	0,010	
			N	76,2	169,5	0,0	0,140	
3283,3	53,6	0,0	P	297,9	191,7	0,0	0,280	OK

			M	6503,4	53,5	0,0	0,010	
			N	83,3	170,2	0,0	0,310	
3335,4	73,3	0,0	P	82,0	170,1	0,0	0,430	OK
			M	6335,2	73,3	0,0	0,010	
			N	35,4	165,3	0,0	0,440	
7532,8	45,9	0,0	P	124,6	174,4	0,0	0,260	OK
			M	6569,6	45,8	0,0	0,000	
			N	32,8	165,1	0,0	0,280	
7647,8	11,3	0,0	P	1153,2	271,6	0,0	0,040	OK
			M	6874,7	11,2	0,0	0,010	
			N	47,8	166,6	0,0	0,070	
7725,8	51,3	0,0	P	85,7	170,4	0,0	0,300	OK
			M	6523,6	51,2	0,0	0,000	
			N	25,8	164,3	0,0	0,310	
7842,8	18,5	0,0	P	486,6	210,3	0,0	0,090	OK
			M	6809,2	18,4	0,0	0,010	
			N	42,8	166,1	0,0	0,110	
7934,4	49,8	0,0	P	120,1	173,9	0,0	0,290	OK
			M	6536,3	49,7	0,0	0,000	
			N	34,4	165,2	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		
1-3,0	139,7	0,0	P	-3,5	161,2	0,0	0,870	OK
1-3,0	139,7	0,0	M	-200,3	139,7	0,0	0,010	OK
1-3,0	139,7	0,0	N	-3,0	161,2	0,0	0,870	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	95,3	0,0	4,6	-8852,6	0,51	258114,4	0,82
47 OK	75,4	0,0	3,9	-6999,4	0,40	204010,9	0,65
48 OK	95,3	0,0	4,6	-8852,6	0,51	258114,4	0,82
49 OK	75,4	0,0	3,9	-6999,4	0,40	204010,9	0,65
50 OK	49,1	0,0	36,6	-4531,4	0,26	121254,2	0,38
51 OK	28,6	0,0	38,3	-2623,0	0,15	64954,8	0,21
52 OK	48,2	0,0	41,1	-4449,2	0,26	117475,1	0,37
53 OK	49,1	0,0	36,6	-4531,4	0,26	121254,2	0,38
54 OK	28,6	0,0	38,3	-2623,0	0,15	64954,8	0,21
55 OK	48,2	0,0	41,1	-4449,2	0,26	117475,1	0,37
56 OK	89,5	0,0	8,6	-8312,0	0,48	240971,5	0,76
57 OK	69,6	0,0	7,9	-6458,9	0,37	186868,2	0,59
58 OK	89,5	0,0	8,6	-8312,0	0,48	240971,5	0,76
59 OK	69,6	0,0	7,9	-6458,9	0,37	186868,2	0,59
60 OK	56,3	0,0	31,6	-5208,1	0,30	142634,6	0,45
61 OK	35,8	0,0	33,3	-3301,7	0,19	86295,6	0,27
62 OK	55,5	0,0	36,1	-5126,2	0,29	138848,8	0,44
63 OK	56,3	0,0	31,6	-5208,1	0,30	142634,6	0,45

64	OK	35,8	0,0	33,3	-3301,7	0,19	86295,6	0,27
65	OK	55,5	0,0	36,1	-5126,2	0,29	138848,8	0,44
66	OK	56,3	0,0	31,6	-5208,1	0,30	142634,6	0,45
67	OK	56,3	0,0	31,6	-5208,1	0,30	142634,6	0,45
68	OK	52,1	0,0	26,2	-4823,0	0,28	133070,2	0,42
69	OK	52,1	0,0	26,2	-4823,0	0,28	133070,2	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	92,7	0,0	13,5	0.35	0,78
35	OK	71,4	0,0	18,9	0.22	0,48
36	OK	49,1	0,0	36,6	0.14	0,31
37	OK	28,6	0,0	38,3	0.07	0,17
38	OK	48,2	0,0	41,1	0.14	0,30
44	OK	54,7	0,0	39,7	0.16	0,35
45	OK	52,1	0,0	26,2	0.15	0,34

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

Valori limite:

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

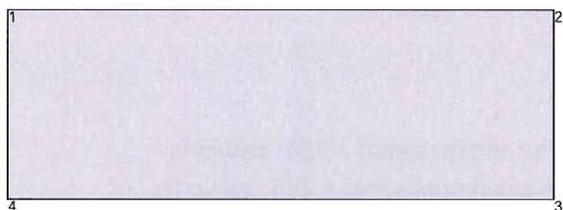
Fessure:  $WkL = 0,30$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

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	74,2	0,0	18,1	-6882,1	0,29	0.29	0.99
40	OK	60,2	0,0	17,6	-5585,2	0,43	0.18	0.61
41	OK	45,3	0,0	30,1	-4186,5	0,32	0.13	0.43
42	OK	31,0	0,0	31,3	-2851,3	0,22	0.08	0.28
43	OK	44,7	0,0	33,2	-4128,9	0,32	0.13	0.42
70	OK	55,2	0,0	12,1	-5120,8	0,39	0.17	0.56
71	OK	12,4	0,0	31,6	-1116,5	0,09	0.03	0.09
72	OK	48,0	0,0	17,1	-4444,4	0,34	0.14	0.48
73	OK	19,6	0,0	26,6	-1800,7	0,14	0.05	0.17
74	OK	53,8	0,0	18,1	-4981,7	0,38	0.16	0.54

## 9.1 SOLETTA DI FONDAZIONE

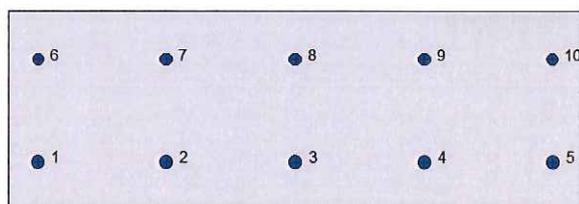
### 9.1.1 ATTACCO PIEDRITTO (ASTA 11)

#### 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	26,5	3,1	no
7	27,5	26,5	3,1	no
8	50,0	26,5	3,1	no

9	72,5	26,5	3,1	no
10	95,0	26,5	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**

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>

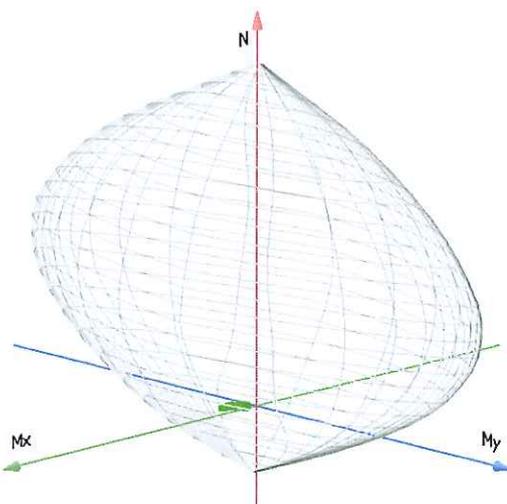
E (modulo elastico) = 2000000 daN/cm<sup>2</sup>

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	11,6	0,0	Completamente tesa
7110,1	-11,6	0,0	Completamente compressa
0,0	186,4	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-162,4	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	572,6	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-572,6	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		
119,5	54,6	0,0	P	69,1	193,4	0,0	0,280	OK
			M	6515,6	54,5	0,0	0,000	
			N	19,5	188,4	0,0	0,290	
220,6	42,5	0,0	P	95,2	196,0	0,0	0,220	OK
			M	6620,2	42,4	0,0	0,000	
			N	20,6	188,5	0,0	0,220	
319,5	54,6	0,0	P	69,1	193,4	0,0	0,280	OK
			M	6515,6	54,5	0,0	0,000	
			N	19,5	188,4	0,0	0,290	
420,6	42,5	0,0	P	95,2	196,0	0,0	0,220	OK
			M	6620,2	42,4	0,0	0,000	
			N	20,6	188,5	0,0	0,220	
5119,1	139,4	0,0	P	174,2	203,9	0,0	0,680	OK
			M	5794,4	139,3	0,0	0,020	
			N	119,1	198,4	0,0	0,700	
6129,5	133,8	0,0	P	199,8	206,4	0,0	0,650	OK
			M	5841,6	133,7	0,0	0,020	
			N	129,5	199,4	0,0	0,670	
7131,8	150,5	0,0	P	179,0	204,4	0,0	0,740	OK
			M	5701,0	150,4	0,0	0,020	
			N	131,8	199,7	0,0	0,750	
899,2	106,8	0,0	P	190,9	205,6	0,0	0,520	OK
			M	6069,7	106,7	0,0	0,020	
			N	99,2	196,4	0,0	0,540	
9109,6	101,3	0,0	P	226,2	209,0	0,0	0,480	OK
			M	6116,3	101,2	0,0	0,020	
			N	109,6	197,4	0,0	0,510	
10111,9	118,0	0,0	P	195,3	206,0	0,0	0,570	OK
			M	5975,0	117,9	0,0	0,020	
			N	111,9	197,7	0,0	0,600	
1147,0	56,4	0,0	P	169,4	203,4	0,0	0,280	OK
			M	6499,4	56,4	0,0	0,010	
			N	47,0	191,2	0,0	0,290	
1248,1	44,4	0,0	P	226,9	209,1	0,0	0,210	OK
			M	6603,9	44,3	0,0	0,010	
			N	48,1	191,3	0,0	0,230	
1347,0	56,4	0,0	P	169,4	203,4	0,0	0,280	OK

			M	6499,4	56,4	0,0	0,010	
			N	47,0	191,2	0,0	0,290	
1448,1	44,4	0,0	P	226,9	209,1	0,0	0,210	OK
			M	6603,9	44,3	0,0	0,010	
			N	48,1	191,3	0,0	0,230	
15125,1	147,8	0,0	P	172,4	203,7	0,0	0,720	OK
			M	5723,8	147,7	0,0	0,020	
			N	125,1	199,0	0,0	0,740	
16135,5	142,2	0,0	P	196,4	206,1	0,0	0,690	OK
			M	5771,0	142,1	0,0	0,020	
			N	135,5	200,0	0,0	0,710	
17137,8	158,9	0,0	P	177,1	204,2	0,0	0,780	OK
			M	5630,5	158,8	0,0	0,020	
			N	137,8	200,3	0,0	0,790	
18105,2	115,2	0,0	P	187,4	205,2	0,0	0,560	OK
			M	5998,7	115,1	0,0	0,020	
			N	105,2	197,0	0,0	0,580	
19115,6	109,6	0,0	P	219,8	208,4	0,0	0,530	OK
			M	6045,5	109,6	0,0	0,020	
			N	115,6	198,0	0,0	0,550	
20117,9	126,3	0,0	P	192,0	205,7	0,0	0,610	OK
			M	5904,8	126,2	0,0	0,020	
			N	117,9	198,3	0,0	0,640	
21125,1	147,8	0,0	P	172,4	203,7	0,0	0,720	OK
			M	5723,8	147,7	0,0	0,020	
			N	125,1	199,0	0,0	0,740	
22105,2	115,2	0,0	P	187,4	205,2	0,0	0,560	OK
			M	5998,7	115,1	0,0	0,020	
			N	105,2	197,0	0,0	0,580	
23147,6	112,2	0,0	P	282,3	214,6	0,0	0,520	OK
			M	6024,0	112,1	0,0	0,020	
			N	147,6	201,2	0,0	0,560	
24127,7	79,6	0,0	P	355,6	221,8	0,0	0,360	OK
			M	6300,6	79,6	0,0	0,020	
			N	127,7	199,2	0,0	0,400	
25126,6	136,8	0,0	P	190,2	205,5	0,0	0,670	OK
			M	5816,3	136,7	0,0	0,020	
			N	126,6	199,1	0,0	0,690	
26137,0	131,2	0,0	P	217,4	208,2	0,0	0,630	OK
			M	5863,5	131,1	0,0	0,020	
			N	137,0	200,2	0,0	0,650	
27105,2	115,2	0,0	P	187,4	205,2	0,0	0,560	OK
			M	5998,7	115,1	0,0	0,020	
			N	105,2	197,0	0,0	0,580	
28115,6	109,6	0,0	P	219,8	208,4	0,0	0,530	OK
			M	6045,5	109,6	0,0	0,020	
			N	115,6	198,0	0,0	0,550	
29150,1	124,3	0,0	P	256,0	212,0	0,0	0,590	OK
			M	5921,7	124,2	0,0	0,020	
			N	150,1	201,5	0,0	0,620	
30106,6	98,9	0,0	P	225,1	208,9	0,0	0,470	OK
			M	6136,4	98,9	0,0	0,020	
			N	106,6	197,1	0,0	0,500	
31115,0	88,4	0,0	P	278,8	214,2	0,0	0,410	OK
			M	6226,3	88,3	0,0	0,020	
			N	115,0	198,0	0,0	0,450	
32115,2	101,1	0,0	P	239,7	210,4	0,0	0,480	OK

			M	6118,0	101,0	0,0	0,020	
			N	115,2	198,0	0,0	0,510	
33150,1	124,3	0,0	P	256,0	212,0	0,0	0,590	OK
			M	5921,7	124,2	0,0	0,020	
			N	150,1	201,5	0,0	0,620	
7582,0	55,3	0,0	P	324,8	218,8	0,0	0,250	OK
			M	6509,7	55,2	0,0	0,010	
			N	82,0	194,7	0,0	0,280	
7694,0	91,8	0,0	P	212,7	207,7	0,0	0,440	OK
			M	6196,8	91,7	0,0	0,010	
			N	94,0	195,9	0,0	0,470	
7757,8	40,4	0,0	P	311,7	217,5	0,0	0,180	OK
			M	6638,6	40,3	0,0	0,010	
			N	57,8	192,3	0,0	0,210	
7899,0	98,8	0,0	P	207,7	207,2	0,0	0,480	OK
			M	6137,4	98,7	0,0	0,020	
			N	99,0	196,4	0,0	0,500	
79107,4	87,4	0,0	P	261,2	212,5	0,0	0,410	OK
			M	6234,7	87,3	0,0	0,020	
			N	107,4	197,2	0,0	0,440	

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		
17137,8	158,9	0,0	P	177,1	204,2	0,0	0,780	OK
5119,1	139,4	0,0	M	5794,4	139,3	0,0	0,020	OK
17137,8	158,9	0,0	N	137,8	200,3	0,0	0,790	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	38,5	0,0	27,5	-3308,2	0,19	80252,8	0,25
47 OK	30,5	0,0	28,2	-2613,6	0,15	61650,7	0,20
48 OK	38,5	0,0	27,5	-3308,2	0,19	80252,8	0,25
49 OK	30,5	0,0	28,2	-2613,6	0,15	61650,7	0,20
50 OK	87,7	0,0	76,5	-7529,2	0,43	178874,9	0,57
51 OK	84,0	0,0	83,4	-7206,9	0,41	168489,8	0,53
52 OK	95,1	0,0	85,0	-8165,5	0,47	193455,9	0,61
53 OK	66,0	0,0	63,2	-5662,4	0,33	133001,7	0,42
54 OK	62,3	0,0	70,1	-5340,5	0,31	122647,1	0,39
55 OK	73,4	0,0	71,7	-6299,5	0,36	147606,3	0,47
56 OK	32,9	0,0	23,5	-2828,8	0,16	68628,5	0,22
57 OK	24,9	0,0	24,2	-2134,2	0,12	50027,4	0,16
58 OK	32,9	0,0	23,5	-2828,8	0,16	68628,5	0,22
59 OK	24,9	0,0	24,2	-2134,2	0,12	50027,4	0,16
60 OK	94,7	0,0	81,5	-8128,8	0,47	193416,2	0,61
61 OK	91,0	0,0	88,4	-7806,6	0,45	183030,0	0,58
62 OK	102,1	0,0	89,9	-8765,1	0,50	207997,0	0,66
63 OK	73,0	0,0	68,2	-6262,1	0,36	147542,2	0,47

64	OK	69,3	0,0	75,1	-5939,5	0,34	137162,5	0,44
65	OK	80,4	0,0	76,7	-6898,3	0,40	162123,8	0,51
66	OK	94,7	0,0	81,5	-8128,8	0,47	193416,2	0,61
67	OK	73,0	0,0	68,2	-6262,1	0,36	147542,2	0,47
68	OK	77,0	0,0	99,8	-6599,2	0,38	148098,2	0,47
69	OK	55,3	0,0	86,5	-4730,4	0,27	102268,2	0,32

### 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	32,2	0,0	49,8	0,07	0,22
35	OK	37,6	0,0	66,0	0,08	0,25
36	OK	52,6	0,0	63,2	0,12	0,38
37	OK	51,6	0,0	70,1	0,11	0,37
38	OK	59,9	0,0	71,7	0,13	0,44
44	OK	73,3	0,0	86,0	0,16	0,54
45	OK	47,0	0,0	86,5	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:  $WkL = 0,15$  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	22,2	0,0	45,2	-1892,6	0,04	0,29
40	OK	18,5	0,0	45,7	-1569,0	0,03	0,22
41	OK	54,6	0,0	65,8	-4680,0	0,12	0,80
42	OK	53,9	0,0	70,7	-4617,2	0,35	0,78
43	OK	59,7	0,0	71,8	-5120,7	0,39	0,87
70	OK	22,2	0,0	51,2	-1886,1	0,14	0,27
71	OK	36,1	0,0	55,3	-3091,6	0,24	0,50
72	OK	15,2	0,0	46,2	-1284,2	0,10	0,16
73	OK	43,1	0,0	60,3	-3690,1	0,28	0,61
74	OK	33,2	0,0	68,8	-2827,3	0,22	0,42

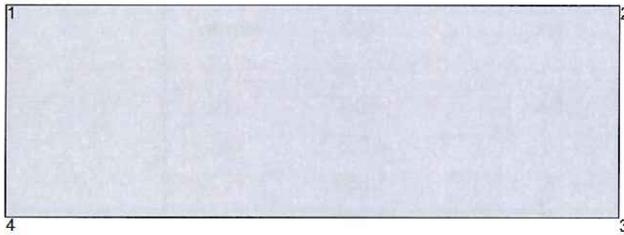
**9.1.1.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio**

$V_{sdu}$	231,4	kN
$M_{sdu}$	138,4	kNm
$N_{sdu}$	137,8	kN
$M_0$	7,913	kNm
$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	26,5	cm
$\delta$	1,057	
$r$	1,335	m
$A_{sl}$	19	cm <sup>2</sup>
$c$	8,5	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>
$\rho$	0,0072	
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$VR_{d1}$	160,373	kN
$VR_{d2}$	1443,422	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>		
$VR_{d2}$	1443,422	kN
$V_{cd}$	212,229	kN
$V_{wd,min}$	19,171	kN
$V_{wd}$	131,590	kN
$VR_{d3}$	343,819	kN

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

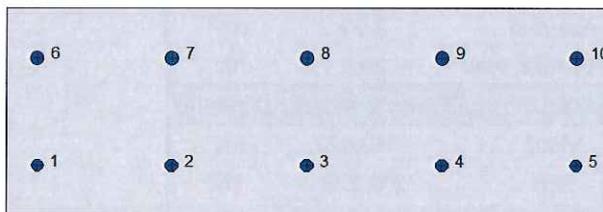
### 9.1.2 MEZZERIA (ASTA 15)

#### 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	3,1	no
2	27,5	8,5	3,1	no
3	50,0	8,5	3,1	no
4	72,5	8,5	3,1	no
5	95,0	8,5	3,1	no
6	5,0	26,5	3,8	no
7	27,5	26,5	3,8	no
8	50,0	26,5	3,8	no

9	72,5	26,5	3,8	no
10	95,0	26,5	3,8	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:**

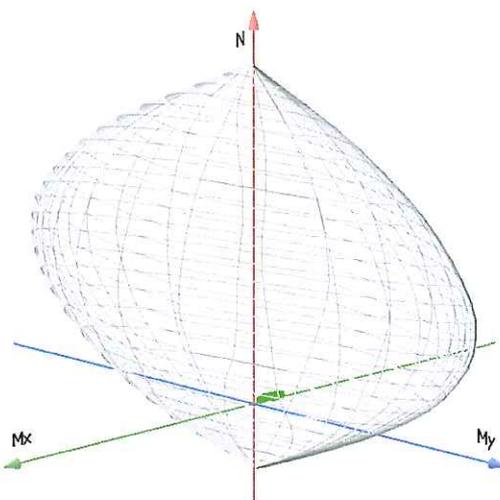
**Calcestruzzo classe: C28/35**

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**

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	-11,6	0,0	Completamente tesa
7110,1	11,6	0,0	Completamente compressa
0,0	162,4	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-186,4	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	572,6	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-572,6	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		
119,5	-116,3	0,0	P	31,8	-189,6	0,0	0,610	OK
			M	5989,3	-116,2	0,0	0,000	
			N	19,5	-188,4	0,0	0,620	
220,6	-90,1	0,0	P	43,6	-190,8	0,0	0,470	OK
			M	6211,9	-90,0	0,0	0,000	
			N	20,6	-188,5	0,0	0,480	
319,5	-116,3	0,0	P	31,8	-189,6	0,0	0,610	OK
			M	5989,3	-116,2	0,0	0,000	
			N	19,5	-188,4	0,0	0,620	
420,6	-90,1	0,0	P	43,6	-190,8	0,0	0,470	OK
			M	6211,9	-90,0	0,0	0,000	
			N	20,6	-188,5	0,0	0,480	
562,9	-110,2	0,0	P	112,9	-197,8	0,0	0,560	OK
			M	6040,5	-110,2	0,0	0,010	
			N	62,9	-192,8	0,0	0,570	
667,7	-83,3	0,0	P	165,0	-203,0	0,0	0,410	OK
			M	6269,8	-83,2	0,0	0,010	
			N	67,7	-193,2	0,0	0,430	
767,2	-109,2	0,0	P	122,2	-198,7	0,0	0,550	OK
			M	6049,1	-109,2	0,0	0,010	
			N	67,2	-193,2	0,0	0,560	
862,9	-110,2	0,0	P	112,9	-197,8	0,0	0,560	OK
			M	6040,5	-110,2	0,0	0,010	
			N	62,9	-192,8	0,0	0,570	
967,7	-83,3	0,0	P	165,0	-203,0	0,0	0,410	OK
			M	6269,8	-83,2	0,0	0,010	
			N	67,7	-193,2	0,0	0,430	
1067,2	-109,2	0,0	P	122,2	-198,7	0,0	0,550	OK
			M	6049,1	-109,2	0,0	0,010	
			N	67,2	-193,2	0,0	0,560	
1146,9	-126,7	0,0	P	71,7	-193,6	0,0	0,650	OK
			M	5901,5	-126,6	0,0	0,010	
			N	46,9	-191,2	0,0	0,660	
1248,0	-100,5	0,0	P	93,6	-195,8	0,0	0,510	OK
			M	6123,1	-100,4	0,0	0,010	
			N	48,0	-191,3	0,0	0,520	
1346,9	-126,7	0,0	P	71,7	-193,6	0,0	0,650	OK

			M	5901,5	-126,6	0,0	0,010	
			N	46,9	-191,2	0,0	0,660	
1448,0	-100,5	0,0	P	93,6	-195,8	0,0	0,510	OK
			M	6123,1	-100,4	0,0	0,010	
			N	48,0	-191,3	0,0	0,520	
1568,9	-102,1	0,0	P	135,0	-200,0	0,0	0,510	OK
			M	6109,7	-102,0	0,0	0,010	
			N	68,9	-193,4	0,0	0,530	
1673,6	-75,1	0,0	P	202,7	-206,7	0,0	0,360	OK
			M	6339,3	-75,0	0,0	0,010	
			N	73,6	-193,8	0,0	0,390	
1773,2	-101,0	0,0	P	145,6	-201,0	0,0	0,500	OK
			M	6118,8	-100,9	0,0	0,010	
			N	73,2	-193,8	0,0	0,520	
1868,9	-102,1	0,0	P	135,0	-200,0	0,0	0,510	OK
			M	6109,7	-102,0	0,0	0,010	
			N	68,9	-193,4	0,0	0,530	
1973,6	-75,1	0,0	P	202,7	-206,7	0,0	0,360	OK
			M	6339,3	-75,0	0,0	0,010	
			N	73,6	-193,8	0,0	0,390	
2073,2	-101,0	0,0	P	145,6	-201,0	0,0	0,500	OK
			M	6118,8	-100,9	0,0	0,010	
			N	73,2	-193,8	0,0	0,520	
2168,9	-102,1	0,0	P	135,0	-200,0	0,0	0,510	OK
			M	6109,7	-102,0	0,0	0,010	
			N	68,9	-193,4	0,0	0,530	
2268,9	-102,1	0,0	P	135,0	-200,0	0,0	0,510	OK
			M	6109,7	-102,0	0,0	0,010	
			N	68,9	-193,4	0,0	0,530	
2382,9	-38,3	0,0	P	512,7	-236,9	0,0	0,160	OK
			M	6656,5	-38,2	0,0	0,010	
			N	82,9	-194,8	0,0	0,200	
2482,9	-38,3	0,0	P	512,7	-236,9	0,0	0,160	OK
			M	6656,5	-38,2	0,0	0,010	
			N	82,9	-194,8	0,0	0,200	
2570,4	-112,8	0,0	P	124,1	-198,9	0,0	0,570	OK
			M	6019,0	-112,7	0,0	0,010	
			N	70,4	-193,5	0,0	0,580	
2675,1	-85,8	0,0	P	178,9	-204,4	0,0	0,420	OK
			M	6248,2	-85,7	0,0	0,010	
			N	75,1	-194,0	0,0	0,440	
2768,9	-102,1	0,0	P	135,0	-200,0	0,0	0,510	OK
			M	6109,7	-102,0	0,0	0,010	
			N	68,9	-193,4	0,0	0,530	
2873,6	-75,1	0,0	P	202,7	-206,7	0,0	0,360	OK
			M	6339,3	-75,0	0,0	0,010	
			N	73,6	-193,8	0,0	0,390	
2985,4	-63,4	0,0	P	290,3	-215,4	0,0	0,290	OK
			M	6440,1	-63,3	0,0	0,010	
			N	85,4	-195,0	0,0	0,320	
3086,6	-80,3	0,0	P	225,3	-209,0	0,0	0,380	OK
			M	6295,0	-80,2	0,0	0,010	
			N	86,6	-195,1	0,0	0,410	
3195,0	-52,6	0,0	P	409,9	-227,1	0,0	0,230	OK
			M	6532,6	-52,5	0,0	0,010	
			N	95,0	-196,0	0,0	0,270	
3295,1	-78,2	0,0	P	258,0	-212,2	0,0	0,370	OK

			M	6312,9	-78,1	0,0	0,010	
			N	95,1	-196,0	0,0	0,400	
3385,4	-63,4	0,0	P	290,3	-215,4	0,0	0,290	OK
			M	6440,1	-63,3	0,0	0,010	
			N	85,4	-195,0	0,0	0,320	
7567,8	-44,2	0,0	P	337,8	-220,0	0,0	0,200	OK
			M	6605,4	-44,1	0,0	0,010	
			N	67,8	-193,3	0,0	0,230	
7647,0	-34,9	0,0	P	289,3	-215,3	0,0	0,160	OK
			M	6685,9	-34,9	0,0	0,010	
			N	47,0	-191,2	0,0	0,180	
7743,7	-50,5	0,0	P	176,4	-204,1	0,0	0,250	OK
			M	6550,6	-50,4	0,0	0,010	
			N	43,7	-190,8	0,0	0,260	
7851,9	-28,2	0,0	P	420,9	-228,1	0,0	0,120	OK
			M	6745,3	-28,1	0,0	0,010	
			N	51,9	-191,7	0,0	0,150	
7960,3	-34,8	0,0	P	389,7	-225,1	0,0	0,150	OK
			M	6686,8	-34,8	0,0	0,010	
			N	60,3	-192,5	0,0	0,180	

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		
1146,9	-126,7	0,0	P	71,7	-193,6	0,0	0,650	OK
562,9	-110,2	0,0	M	6040,5	-110,2	0,0	0,010	OK
1146,9	-126,7	0,0	N	46,9	-191,2	0,0	0,660	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	-75,4	0,0	27,4	-6487,0	0,37	164590,0	0,52
47 OK	-58,0	0,0	28,2	-4982,4	0,29	124463,0	0,40
48 OK	-75,4	0,0	27,4	-6487,0	0,37	164590,0	0,52
49 OK	-58,0	0,0	28,2	-4982,4	0,29	124463,0	0,40
50 OK	-71,9	0,0	47,2	-6181,1	0,36	151058,8	0,48
51 OK	-54,0	0,0	50,4	-4632,2	0,27	109166,8	0,35
52 OK	-71,2	0,0	50,0	-6120,0	0,35	148670,7	0,47
53 OK	-71,9	0,0	47,2	-6181,1	0,36	151058,8	0,48
54 OK	-54,0	0,0	50,4	-4632,2	0,27	109166,8	0,35
55 OK	-71,2	0,0	50,0	-6120,0	0,35	148670,7	0,47
56 OK	-80,9	0,0	23,4	-6954,9	0,40	178111,2	0,57
57 OK	-63,4	0,0	24,2	-5450,6	0,31	137980,5	0,44
58 OK	-80,9	0,0	23,4	-6954,9	0,40	178111,2	0,57
59 OK	-63,4	0,0	24,2	-5450,6	0,31	137980,5	0,44
60 OK	-65,2	0,0	52,2	-5594,8	0,32	134172,0	0,43
61 OK	-47,2	0,0	55,3	-4044,7	0,23	92303,2	0,29
62 OK	-64,5	0,0	55,0	-5534,4	0,32	131809,8	0,42
63 OK	-65,2	0,0	52,2	-5594,8	0,32	134172,0	0,43

64	OK	-47,2	0,0	55,3	-4044,7	0,23	92303,2	0,29
65	OK	-64,5	0,0	55,0	-5534,4	0,32	131809,8	0,42
66	OK	-65,2	0,0	52,2	-5594,8	0,32	134172,0	0,43
67	OK	-65,2	0,0	52,2	-5594,8	0,32	134172,0	0,43
68	OK	-41,3	0,0	64,9	-3530,3	0,20	76251,2	0,24
69	OK	-41,3	0,0	64,9	-3530,3	0,20	76251,2	0,24

### 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	-77,0	0,0	49,7	0.18	0,41
35 OK	-58,2	0,0	56,5	0.13	0,29
36 OK	-71,9	0,0	47,2	0.17	0,38
37 OK	-54,0	0,0	50,4	0.12	0,27
38 OK	-71,2	0,0	50,0	0.17	0,37
44 OK	-63,7	0,0	58,6	0.15	0,32
45 OK	-41,3	0,0	64,9	0.09	0,19

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

Valori limite:

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

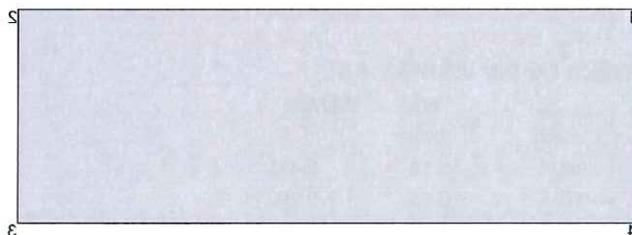
Fessure:  $WkL = 0,30$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

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	-73,9	0,0	45,1	-6350,4	0,49	0.25	0,83
40 OK	-61,7	0,0	45,7	-5296,3	0,41	0.14	0,48
41 OK	-55,5	0,0	51,5	-4766,2	0,37	0.13	0,42
42 OK	-42,9	0,0	53,7	-3679,6	0,28	0.09	0,31
43 OK	-55,0	0,0	53,5	-4723,2	0,36	0.12	0,42
70 OK	-44,1	0,0	51,1	-3782,7	0,29	0.10	0,32
71 OK	-39,9	0,0	45,0	-3417,1	0,26	0.09	0,29
72 OK	-50,9	0,0	46,1	-4370,1	0,33	0.12	0,39
73 OK	-33,1	0,0	50,0	-2828,5	0,22	0.07	0,23
74 OK	-42,7	0,0	58,4	-3658,3	0,28	0.09	0,31

## 9.2 PIEDRITTI

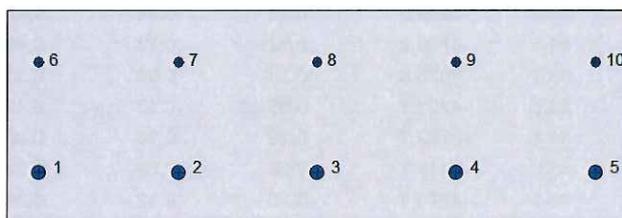
### 9.2.1 ATTACCO SOLETTA SUPERIORE (ASTA 6)

#### 9.2.1.1 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	8,5	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	26,5	1,5	no

7	27,5	26,5	1,5	no
8	50,0	26,5	1,5	no
9	72,5	26,5	1,5	no
10	95,0	26,5	1,5	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**

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>

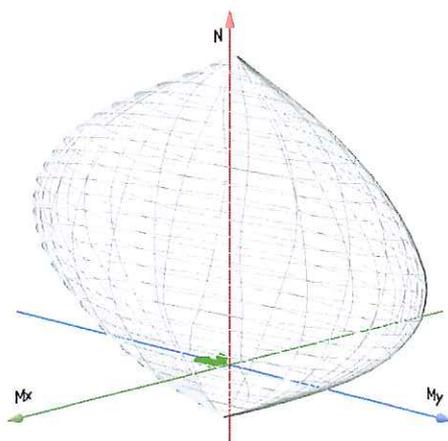
E (modulo elastico) = 2000000 daN/cm<sup>2</sup>

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	
-1137,1	31,5	0,0	Completamente tesa
6888,8	-31,5	0,0	Completamente compressa
0,0	185,4	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-119,0	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	483,8	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-483,8	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		
1238,4	43,3	0,0	P	1832,3	332,9	0,0	0,130	OK
			M	6219,9	43,2	0,0	0,040	
			N	238,4	209,9	0,0	0,210	
2175,3	24,7	0,0	P	2316,1	326,3	0,0	0,080	OK
			M	6380,4	24,6	0,0	0,030	
			N	175,3	203,5	0,0	0,120	
3238,4	43,3	0,0	P	1832,3	332,9	0,0	0,130	OK
			M	6219,9	43,2	0,0	0,040	
			N	238,4	209,9	0,0	0,210	
4175,3	24,7	0,0	P	2316,1	326,3	0,0	0,080	OK
			M	6380,4	24,6	0,0	0,030	
			N	175,3	203,5	0,0	0,120	
5274,0	155,6	0,0	P	397,8	225,9	0,0	0,690	OK
			M	5260,7	155,5	0,0	0,050	
			N	274,0	213,6	0,0	0,730	
6213,3	141,6	0,0	P	330,2	219,2	0,0	0,650	OK
			M	5387,2	141,5	0,0	0,040	
			N	213,3	207,4	0,0	0,680	
7278,7	164,1	0,0	P	380,8	224,2	0,0	0,730	OK
			M	5179,7	164,0	0,0	0,050	
			N	278,7	214,0	0,0	0,770	
8251,7	119,9	0,0	P	493,9	235,3	0,0	0,510	OK
			M	5569,7	119,8	0,0	0,040	
			N	251,7	211,3	0,0	0,570	
9190,9	105,9	0,0	P	409,3	227,0	0,0	0,470	OK
			M	5687,7	105,8	0,0	0,030	
			N	190,9	205,1	0,0	0,520	
10256,3	128,4	0,0	P	463,8	232,4	0,0	0,550	OK
			M	5498,2	128,3	0,0	0,050	
			N	256,3	211,8	0,0	0,610	
11238,4	54,3	0,0	P	1344,6	306,0	0,0	0,180	OK
			M	6126,3	54,2	0,0	0,040	
			N	238,4	209,9	0,0	0,260	
12175,3	35,6	0,0	P	1574,3	320,1	0,0	0,110	OK
			M	6286,0	35,5	0,0	0,030	
			N	175,3	203,5	0,0	0,170	
13238,4	54,3	0,0	P	1344,6	306,0	0,0	0,180	OK

			M	6126,3	54,2	0,0	0,040	
			N	238,4	209,9	0,0	0,260	
14175,3	35,6	0,0	P	1574,3	320,1	0,0	0,110	OK
			M	6286,0	35,5	0,0	0,030	
			N	175,3	203,5	0,0	0,170	
15274,0	147,4	0,0	P	424,9	228,6	0,0	0,640	OK
			M	5336,4	147,3	0,0	0,050	
			N	274,0	213,6	0,0	0,690	
16213,3	133,4	0,0	P	354,3	221,6	0,0	0,600	OK
			M	5456,3	133,3	0,0	0,040	
			N	213,3	207,4	0,0	0,640	
17278,7	155,9	0,0	P	405,1	226,6	0,0	0,690	OK
			M	5257,9	155,8	0,0	0,050	
			N	278,7	214,0	0,0	0,730	
18251,7	111,7	0,0	P	540,2	239,7	0,0	0,470	OK
			M	5638,7	111,6	0,0	0,040	
			N	251,7	211,3	0,0	0,530	
19190,9	97,7	0,0	P	451,5	231,2	0,0	0,420	OK
			M	5756,7	97,6	0,0	0,030	
			N	190,9	205,1	0,0	0,480	
20256,3	120,3	0,0	P	503,2	236,2	0,0	0,510	OK
			M	5566,3	120,2	0,0	0,050	
			N	256,3	211,8	0,0	0,570	
21274,0	147,4	0,0	P	424,9	228,6	0,0	0,640	OK
			M	5336,4	147,3	0,0	0,050	
			N	274,0	213,6	0,0	0,690	
22251,7	111,7	0,0	P	540,2	239,7	0,0	0,470	OK
			M	5638,7	111,6	0,0	0,040	
			N	251,7	211,3	0,0	0,530	
23120,1	70,3	0,0	P	383,4	224,5	0,0	0,310	OK
			M	5989,1	70,2	0,0	0,020	
			N	120,1	197,8	0,0	0,350	
2497,7	34,6	0,0	P	724,4	256,8	0,0	0,130	OK
			M	6294,6	34,5	0,0	0,010	
			N	97,7	195,5	0,0	0,180	
25274,0	132,3	0,0	P	485,6	234,5	0,0	0,560	OK
			M	5465,5	132,2	0,0	0,050	
			N	274,0	213,6	0,0	0,620	
26213,3	118,3	0,0	P	409,4	227,0	0,0	0,520	OK
			M	5583,2	118,2	0,0	0,040	
			N	213,3	207,4	0,0	0,570	
27251,7	111,7	0,0	P	540,2	239,7	0,0	0,470	OK
			M	5638,7	111,6	0,0	0,040	
			N	251,7	211,3	0,0	0,530	
28190,9	97,7	0,0	P	451,5	231,2	0,0	0,420	OK
			M	5756,7	97,6	0,0	0,030	
			N	190,9	205,1	0,0	0,480	
29160,0	80,9	0,0	P	458,5	231,8	0,0	0,350	OK
			M	5899,1	80,8	0,0	0,030	
			N	160,0	202,0	0,0	0,400	
30220,9	125,8	0,0	P	396,4	225,8	0,0	0,560	OK
			M	5519,8	125,7	0,0	0,040	
			N	220,9	208,2	0,0	0,600	
31157,7	108,2	0,0	P	317,6	217,9	0,0	0,500	OK
			M	5668,3	108,1	0,0	0,030	
			N	157,7	201,7	0,0	0,540	
32220,9	127,2	0,0	P	391,2	225,2	0,0	0,560	OK

			M	5508,3	127,1	0,0	0,040	
			N	220,9	208,2	0,0	0,610	
33160,0	80,9	0,0	P	458,5	231,8	0,0	0,350	OK
			M	5899,1	80,8	0,0	0,030	
			N	160,0	202,0	0,0	0,400	
7599,0	35,2	0,0	P	720,6	256,5	0,0	0,140	OK
			M	6289,5	35,1	0,0	0,020	
			N	99,0	195,7	0,0	0,180	
76114,5	99,8	0,0	P	241,1	210,2	0,0	0,470	OK
			M	5738,9	99,8	0,0	0,020	
			N	114,5	197,3	0,0	0,510	
7799,0	30,5	0,0	P	878,5	270,4	0,0	0,110	OK
			M	6330,4	30,4	0,0	0,020	
			N	99,0	195,7	0,0	0,160	
78114,5	93,0	0,0	P	261,3	212,3	0,0	0,440	OK
			M	5796,4	93,0	0,0	0,020	
			N	114,5	197,3	0,0	0,470	
79108,7	58,0	0,0	P	429,1	229,0	0,0	0,250	OK
			M	6094,1	57,9	0,0	0,020	
			N	108,7	196,7	0,0	0,290	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su Verif.
kN	kN m	kN m			kN m	kN m		
7278,7	164,1	0,0	P	380,8	224,2	0,0	0,730	OK
5274,0	155,6	0,0	M	5260,7	155,5	0,0	0,050	OK
7278,7	164,1	0,0	N	278,7	214,0	0,0	0,770	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	23,0	0,0	159,0	-1869,8	0,11	-14853,7	0,05
47 OK	11,4	0,0	116,9	-910,1	0,05	-8867,9	0,03
48 OK	23,0	0,0	159,0	-1869,8	0,11	-14853,7	0,05
49 OK	11,4	0,0	116,9	-910,1	0,05	-8867,9	0,03
50 OK	100,4	0,0	180,2	-8698,8	0,50	178186,3	0,57
51 OK	91,9	0,0	139,7	-7972,3	0,46	170063,6	0,54
52 OK	106,1	0,0	183,3	-9195,2	0,53	190249,6	0,60
53 OK	77,0	0,0	165,3	-6655,1	0,38	129198,5	0,41
54 OK	68,4	0,0	124,8	-5928,1	0,34	120907,2	0,38
55 OK	82,6	0,0	168,3	-7145,6	0,41	141082,7	0,45
56 OK	28,4	0,0	159,0	-2359,8	0,14	23655,3	0,08
57 OK	16,8	0,0	116,9	-1370,4	0,08	-10905,1	0,03
58 OK	28,4	0,0	159,0	-2359,8	0,14	23655,3	0,08
59 OK	16,8	0,0	116,9	-1370,4	0,08	-10905,1	0,03
60 OK	93,6	0,0	180,2	-8108,3	0,47	162886,9	0,52
61 OK	85,1	0,0	139,7	-7379,4	0,42	154643,6	0,49
62 OK	99,3	0,0	183,3	-8598,1	0,49	174760,7	0,55
63 OK	70,2	0,0	165,3	-6059,1	0,35	113863,5	0,36

64	OK	61,6	0,0	124,8	-5333,8	0,31	105525,1	0,34
65	OK	75,8	0,0	168,3	-6551,1	0,38	125751,5	0,40
66	OK	93,6	0,0	180,2	-8108,3	0,47	162886,9	0,52
67	OK	70,2	0,0	165,3	-6059,1	0,35	113863,5	0,36
68	OK	44,2	0,0	104,1	-3813,4	0,22	71644,2	0,23
69	OK	20,7	0,0	89,2	-1748,7	0,10	23212,1	0,07

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

Valori limite:

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

<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>	
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm		
34	OK	24,8	0,0	159,0	0,02	0,06
35	OK	20,9	0,0	120,9	0,02	0,06
36	OK	77,0	0,0	165,3	0,14	0,48
37	OK	68,4	0,0	124,8	0,14	0,45
38	OK	82,6	0,0	168,3	0,16	0,53
44	OK	80,4	0,0	170,8	0,15	0,50
45	OK	20,7	0,0	89,2	0,02	0,08

### 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  $Wk/WkL < 1$ )

<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b><math>\sigma_c/\sigma_{cL}</math></b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>	
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm		
39	OK	25,1	0,0	135,2	-2091,6	0,16	0,02	0,15
40	OK	17,0	0,0	105,8	-1399,2	0,11	0,01	0,08
41	OK	62,3	0,0	140,8	-5380,9	0,41	0,11	0,76
42	OK	56,3	0,0	112,5	-4873,2	0,37	0,11	0,72
43	OK	66,2	0,0	142,9	-5725,0	0,44	0,12	0,83
70	OK	3,1	0,0	79,9	-354,6	0,03	0,00	0,00
71	OK	50,7	0,0	83,7	-4390,9	0,34	0,10	0,69
72	OK	9,9	0,0	79,9	-794,0	0,06	0,00	0,02
73	OK	43,9	0,0	83,7	-3797,2	0,29	0,09	0,57
74	OK	10,5	0,0	83,7	-840,2	0,06	0,00	0,03

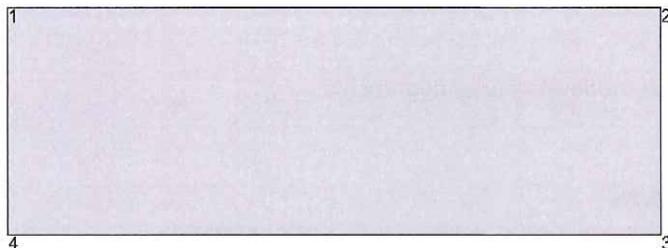
### 9.2.1.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio

$V_{sdu}$	101,2	kN
$M_{sdu}$	118,2	kNm
$N_{sdu}$	221,7	kN
$M_o$	12,731	kNm
$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	26,5	cm
$\delta$	1,108	
$r$	1,335	m
$A_{sl}$	19	cm <sup>2</sup>
$c$	8,5	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1,57	rad
$A_{sw}$	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>
$\rho$	0,0072	
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$VR_{d1}$	168,039	kN
$VR_{d2}$	1443,422	kN
$A_{sw,min}$	3,90	cm <sup>2</sup>
passo staffe, max	30,0	cm

La verifica è soddisfatta senza necessità di armatura a taglio.

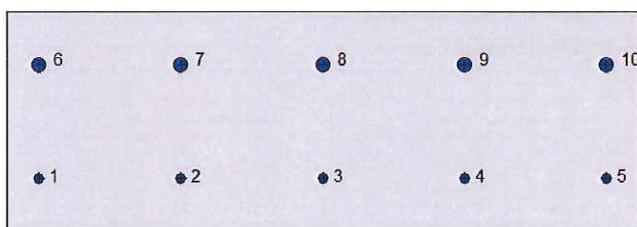
## 9.2.2 ATTACCO SOLETTA INFERIORE (ASTA 2)

### 9.2.2.1 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	8,5	1,5	no
2	27,5	8,5	1,5	no
3	50,0	8,5	1,5	no
4	72,5	8,5	1,5	no
5	95,0	8,5	1,5	no
6	5,0	26,5	3,8	no
7	27,5	26,5	3,8	no

8	50,0	26,5	3,8	no
9	72,5	26,5	3,8	no
10	95,0	26,5	3,8	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

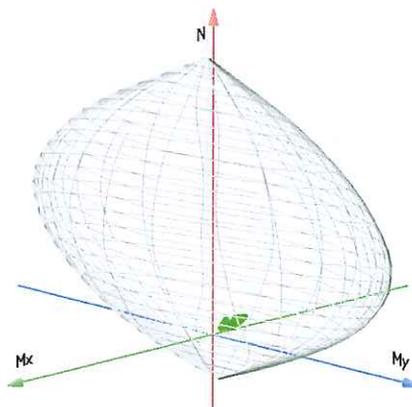
**Materiali:**
**Calcestruzzo classe: C28/35**

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**

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	
-1137,1	-31,5	0,0	Completamente tesa
6888,8	31,5	0,0	Completamente compressa
0,0	119,0	0,0	Fibre inferiori tese
0,0	-185,4	0,0	Fibre superiori tese
0,0	0,0	483,8	Fibre di sinistra tese
0,0	0,0	-483,8	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		
1273,5	-73,4	0,0	P	1065,1	-285,7	0,0	0,260	OK
			M	5963,3	-73,3	0,0	0,050	
			N	273,5	-213,5	0,0	0,340	
2210,4	-57,7	0,0	P	1031,1	-283,0	0,0	0,200	OK
			M	6096,3	-57,7	0,0	0,030	
			N	210,4	-207,1	0,0	0,280	
3273,5	-73,4	0,0	P	1065,1	-285,7	0,0	0,260	OK
			M	5963,3	-73,3	0,0	0,050	
			N	273,5	-213,5	0,0	0,340	
4210,4	-57,7	0,0	P	1031,1	-283,0	0,0	0,200	OK
			M	6096,3	-57,7	0,0	0,030	
			N	210,4	-207,1	0,0	0,280	
5238,0	-156,7	0,0	P	333,4	-219,5	0,0	0,710	OK
			M	5250,3	-156,6	0,0	0,040	
			N	238,0	-209,9	0,0	0,750	
6172,4	-147,2	0,0	P	246,9	-210,8	0,0	0,700	OK
			M	5338,3	-147,1	0,0	0,030	
			N	172,4	-203,2	0,0	0,720	
7233,3	-167,4	0,0	P	301,5	-216,3	0,0	0,770	OK
			M	5146,1	-167,4	0,0	0,040	
			N	233,3	-209,4	0,0	0,800	
8260,3	-123,6	0,0	P	495,9	-235,5	0,0	0,520	OK
			M	5538,6	-123,5	0,0	0,050	
			N	260,3	-212,2	0,0	0,580	
9194,7	-114,1	0,0	P	383,0	-224,4	0,0	0,510	OK
			M	5618,5	-114,0	0,0	0,030	
			N	194,7	-205,5	0,0	0,550	
10255,7	-134,3	0,0	P	437,5	-229,8	0,0	0,580	OK
			M	5448,5	-134,2	0,0	0,050	
			N	255,7	-211,7	0,0	0,630	
11273,5	-75,7	0,0	P	1018,4	-282,0	0,0	0,270	OK
			M	5943,1	-75,6	0,0	0,050	
			N	273,5	-213,5	0,0	0,350	
12210,4	-60,1	0,0	P	974,4	-278,4	0,0	0,220	OK
			M	6076,1	-60,0	0,0	0,030	
			N	210,4	-207,1	0,0	0,290	
13273,5	-75,7	0,0	P	1018,4	-282,0	0,0	0,270	OK

			M	5943,1	-75,6	0,0	0,050	
			N	273,5	-213,5	0,0	0,350	
14210,4	-60,1	0,0	P	974,4	-278,4	0,0	0,220	OK
			M	6076,1	-60,0	0,0	0,030	
			N	210,4	-207,1	0,0	0,290	
15238,0	-164,6	0,0	P	314,7	-217,6	0,0	0,760	OK
			M	5175,1	-164,5	0,0	0,050	
			N	238,0	-209,9	0,0	0,780	
16172,4	-155,1	0,0	P	232,7	-209,4	0,0	0,740	OK
			M	5265,4	-155,0	0,0	0,030	
			N	172,4	-203,2	0,0	0,760	
17233,3	-175,3	0,0	P	285,8	-214,7	0,0	0,820	OK
			M	5068,3	-175,2	0,0	0,050	
			N	233,3	-209,4	0,0	0,840	
18260,3	-131,5	0,0	P	459,0	-231,9	0,0	0,570	OK
			M	5472,1	-131,4	0,0	0,050	
			N	260,3	-212,2	0,0	0,620	
19194,7	-122,0	0,0	P	353,5	-221,5	0,0	0,550	OK
			M	5552,1	-121,9	0,0	0,030	
			N	194,7	-205,5	0,0	0,590	
20255,7	-142,2	0,0	P	408,0	-226,9	0,0	0,630	OK
			M	5382,2	-142,1	0,0	0,050	
			N	255,7	-211,7	0,0	0,670	
21238,0	-164,6	0,0	P	314,7	-217,6	0,0	0,760	OK
			M	5175,1	-164,5	0,0	0,050	
			N	238,0	-209,9	0,0	0,780	
22260,3	-131,5	0,0	P	459,0	-231,9	0,0	0,570	OK
			M	5472,1	-131,4	0,0	0,050	
			N	260,3	-212,2	0,0	0,620	
2363,0	-115,7	0,0	P	107,1	-196,5	0,0	0,590	OK
			M	5605,2	-115,6	0,0	0,010	
			N	63,0	-191,9	0,0	0,600	
2485,4	-82,5	0,0	P	214,8	-207,5	0,0	0,400	OK
			M	5885,3	-82,5	0,0	0,010	
			N	85,4	-194,3	0,0	0,420	
25238,0	-153,5	0,0	P	341,6	-220,3	0,0	0,700	OK
			M	5280,5	-153,4	0,0	0,040	
			N	238,0	-209,9	0,0	0,730	
26172,4	-143,9	0,0	P	253,3	-211,5	0,0	0,680	OK
			M	5368,1	-143,8	0,0	0,030	
			N	172,4	-203,2	0,0	0,710	
27260,3	-131,5	0,0	P	459,0	-231,9	0,0	0,570	OK
			M	5472,1	-131,4	0,0	0,050	
			N	260,3	-212,2	0,0	0,620	
28194,7	-122,0	0,0	P	353,5	-221,5	0,0	0,550	OK
			M	5552,1	-121,9	0,0	0,030	
			N	194,7	-205,5	0,0	0,590	
29114,7	-133,1	0,0	P	175,4	-203,5	0,0	0,650	OK
			M	5458,8	-133,0	0,0	0,020	
			N	114,7	-197,3	0,0	0,670	
30199,5	-110,0	0,0	P	412,3	-227,3	0,0	0,480	OK
			M	5653,1	-109,9	0,0	0,030	
			N	199,5	-206,0	0,0	0,530	
31136,4	-95,3	0,0	P	311,1	-217,3	0,0	0,440	OK
			M	5777,5	-95,2	0,0	0,020	
			N	136,4	-199,5	0,0	0,480	
32199,5	-111,4	0,0	P	406,0	-226,7	0,0	0,490	OK

			M	5641,3	-111,3	0,0	0,030	
			N	199,5	-206,0	0,0	0,540	
33114,7	-133,1	0,0	P	175,4	-203,5	0,0	0,650	OK
			M	5458,8	-133,0	0,0	0,020	
			N	114,7	-197,3	0,0	0,670	
75106,1	-61,4	0,0	P	389,2	-225,1	0,0	0,270	OK
			M	6065,5	-61,3	0,0	0,020	
			N	106,1	-196,4	0,0	0,310	
7675,2	-97,2	0,0	P	156,1	-201,6	0,0	0,480	OK
			M	5761,6	-97,1	0,0	0,010	
			N	75,2	-193,2	0,0	0,500	
77106,1	-46,6	0,0	P	547,8	-240,4	0,0	0,190	OK
			M	6191,8	-46,5	0,0	0,020	
			N	106,1	-196,4	0,0	0,240	
7875,2	-103,7	0,0	P	145,5	-200,5	0,0	0,520	OK
			M	5706,2	-103,6	0,0	0,010	
			N	75,2	-193,2	0,0	0,540	
7967,9	-91,1	0,0	P	149,6	-200,9	0,0	0,450	OK
			M	5812,6	-91,0	0,0	0,010	
			N	67,9	-192,4	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		
17233,3	-175,3	0,0	P	285,8	-214,7	0,0	0,820	OK
1273,5	-73,4	0,0	M	5963,3	-73,3	0,0	0,050	OK
17233,3	-175,3	0,0	N	233,3	-209,4	0,0	0,840	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	-46,2	0,0	182,4	-3927,5	0,23	56028,0	0,18
47 OK	-36,6	0,0	140,3	-3119,0	0,18	45501,1	0,14
48 OK	-46,2	0,0	182,4	-3927,5	0,23	56028,0	0,18
49 OK	-36,6	0,0	140,3	-3119,0	0,18	45501,1	0,14
50 OK	-96,0	0,0	161,2	-8318,0	0,48	173321,1	0,55
51 OK	-90,5	0,0	117,4	-7852,0	0,45	172954,6	0,55
52 OK	-103,1	0,0	158,1	-8941,5	0,51	190360,4	0,60
53 OK	-73,6	0,0	176,1	-6352,9	0,37	118683,1	0,38
54 OK	-68,1	0,0	132,3	-5896,2	0,34	118121,0	0,37
55 OK	-80,7	0,0	173,0	-6983,1	0,40	135680,8	0,43
56 OK	-40,9	0,0	182,4	-3457,0	0,20	44622,5	0,14
57 OK	-31,4	0,0	140,3	-2648,7	0,15	34075,7	0,11
58 OK	-40,9	0,0	182,4	-3457,0	0,20	44622,5	0,14
59 OK	-31,4	0,0	140,3	-2648,7	0,15	34075,7	0,11
60 OK	-102,5	0,0	161,2	-8888,3	0,51	188147,2	0,60
61 OK	-97,1	0,0	117,4	-8424,5	0,48	187901,8	0,60
62 OK	-109,7	0,0	158,1	-9516,5	0,55	205335,1	0,65
63 OK	-80,2	0,0	176,1	-6929,9	0,40	133515,1	0,42

64	OK	-74,7	0,0	132,3	-6470,2	0,37	132990,8	0,42
65	OK	-87,3	0,0	173,0	-7558,9	0,43	150547,3	0,48
66	OK	-102,5	0,0	161,2	-8888,3	0,51	188147,2	0,60
67	OK	-80,2	0,0	176,1	-6929,9	0,40	133515,1	0,42
68	OK	-81,0	0,0	79,0	-7034,3	0,40	162156,9	0,51
69	OK	-58,6	0,0	93,9	-5084,5	0,29	107182,7	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	-49,1	0,0	181,6	0.07	0,23
35 OK	-48,2	0,0	135,4	0.08	0,27
36 OK	-68,3	0,0	175,3	0.12	0,40
37 OK	-62,1	0,0	131,6	0.12	0,39
38 OK	-74,6	0,0	172,2	0.14	0,45
44 OK	-85,9	0,0	169,8	0.17	0,55
45 OK	-51,2	0,0	93,1	0.10	0,34

### 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	-37,5	0,0	157,9	-3182,2	0,24	0.05	0,31
40 OK	-30,8	0,0	128,4	-2612,2	0,20	0.04	0,26
41 OK	-67,4	0,0	152,3	-5825,2	0,45	0.12	0,83
42 OK	-63,1	0,0	121,7	-5463,7	0,42	0.12	0,82
43 OK	-71,8	0,0	150,1	-6213,5	0,48	0.15	0,99
70 OK	-31,0	0,0	102,5	-2657,7	0,20	0.05	0,31
71 OK	-44,9	0,0	98,6	-3885,6	0,30	0.08	0,56
72 OK	-24,9	0,0	102,5	-2111,4	0,16	0.03	0,21
73 OK	-51,1	0,0	98,6	-4422,0	0,34	0.10	0,66
74 OK	-39,6	0,0	98,6	-3419,0	0,26	0.07	0,47

**9.2.2.2 Verifiche allo stato limite ultimo per taglio**

V <sub>sdu</sub>	154,11	kN
M <sub>sdu</sub>	119,3	kNm
N <sub>sdu</sub>	113,5	kN
M <sub>0</sub>	6,518	kNm
R <sub>ck</sub>	35	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>yk</sub>	450	N/mm <sup>2</sup>
bw	100	cm
d	26,5	cm
δ	1,055	
r	1,335	m
A <sub>sl</sub>	19	cm <sup>2</sup>
c	8,5	cm
α	90	gradi
α	1,57	rad
A <sub>sw</sub>	1,96	cm <sup>2</sup>
passo staffe	40	cm
f <sub>cd</sub>	18,156	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>ctd</sub>	1,263	N/mm <sup>2</sup>
f <sub>yd</sub>	391,304	N/mm <sup>2</sup>
ρ	0,0072	
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
VR <sub>d1</sub>	159,988	kN
VR <sub>d2</sub>	1443,422	kN
A <sub>sw,min</sub>	3,90	cm <sup>2</sup>
passo staffe, max	30,0	cm

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):  $M = q l^2 / 14 = 34 \cdot 3.35^2 / 14 = 27.25 \text{ kNm}$
- 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):  $M = q l^2 / 14 = 42.76 \cdot 3.35^2 / 14 = 34.27 \text{ kNm}$
- 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  $M_{rara} = 85.76 \text{ kNm}$ , che risulta di poco inferiore a quello calcolato tramite software e pari a  $M_{rara} = 95.3 \text{ kNm}$ , valore riscontrabile nella tabella riassuntiva riferita a Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare di paragrafo 9.1.2.1.

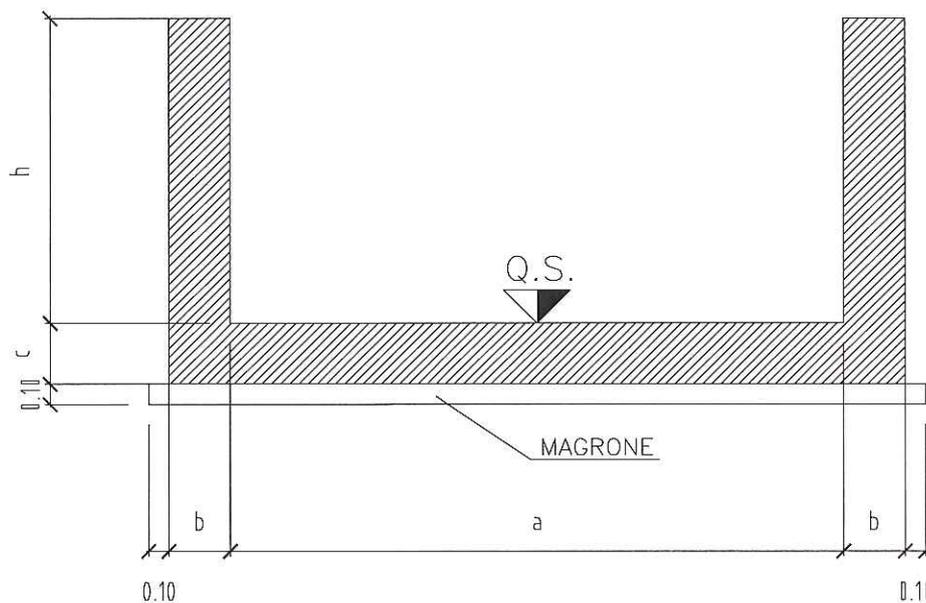
Il confronto tra i valori di sollecitazione ottenuti con codice di calcolo e ricavati manualmente ha fornito esito positivo e di conseguenza si ritengono accettabili i risultati ottenuti tramite codice di calcolo automatico.

## 11 CALCOLO E VERIFICA DEI MURI AD “U” DI ACCESSO AL TOMBINO

Nel presente capitolo, viene sviluppato il calcolo e la verifica degli elementi ad U di imbocco al tombino scatolare.

### 11.1 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

La figura seguente mostra la geometria della sezione trasversale dei muri ad U oggetto della presente relazione.



Le sezioni significative ai fini del calcolo delle sollecitazioni sono elencate in tabella:

ALTEZZA MASSIMA MURO	ALTEZZA DI CALCOLO MURO	SPESSORE FONDAZIONE	SPESSORE PIEDRITTO
$H = 2.85 \text{ m}$	$h = 2.40 \text{ m}$	$c = 0.35 \text{ m}$	$b = 0.35 \text{ m}$

La sezione di calcolo si ritiene valida per i muri d'ala di accesso al tombino; data la variabilità dell'altezza del muro il calcolo è stato eseguito con riferimento ad una altezza intermedia misurata in corrispondenza della sezione posta a distanza dalla fine della soletta dello scatolare pari ad 1/3 della lunghezza complessiva del tratto ad altezza variabile del muro.

## 11.2 CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

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°5 Condizioni Elementari di carico (CDC1÷ CDC5), di seguito determinate.

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

### 11.2.1 PESO PERMANENTE DELLA STRUTTURA

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

- calcestruzzo armato: 25 kN/m<sup>3</sup>  
(Condizione Elementare CDC 1)

### 11.2.2 SPINTA DEL TERRENO

Le caratteristiche del terreno a ridosso del paramento:

$\gamma=20.00$  kN/m<sup>3</sup> (peso di volume del terreno);

$c'=0.00$  Kpa;

$\varphi =35^\circ$

da cui risulta un coefficiente di spinta a riposo  $\lambda_0 = 0.426$ .

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

$$p_h = \lambda_0 \gamma_t Z$$

e con il consueto diagramma trapezoidale delle pressioni orizzontali.

Si considera inoltre una spinta dell'acqua (falda esterna) sui piedritti fino ad una quota assunta a favore di sicurezza pari a 2/3 dell'altezza di calcolo del piedritto.

(Condizioni Elementari CDC 2)

### 11.2.3 SPINTA DEL TERRENO IN PRESENZA DI SOVRACCARICO SUL RILEVATO

Il sovraccarico accidentale che verrà considerato sul terreno ai fini del calcolo delle spinte si assume pari a 10 kN/m<sup>2</sup> per la condizione allo SLE e 20 kN/m<sup>2</sup> per la condizione allo SLU.

(Condizione Elementare CDC 3-4)

### 11.2.4 AZIONE SISMICA

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

$$F_h = P * k_h$$

P = peso proprio;

$k_h$  = coefficienti sismici, già definiti nel capitolo "Criteri di calcolo".

Nel caso di sisma orizzontale si considera la spinta derivante dall'oscillazione del cuneo di terreno spingente con l'applicazione del diagramma triangolare di pressioni, tipico dei muri di sostegno, avente la risultante a 2/3 dell'altezza dalla base del piedritto. Per tener conto dell'incremento di spinta del terreno dovuta al sisma si fa riferimento alla ord. 3274 e s.m., in cui l'incremento di spinta sismica  $\Delta P$  per la condizione a riposo viene valutato:

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

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

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.

La Spinta inerziale sui piedritti, variabile lungo l'altezza secondo lo spessore del paramento, sono date dell'espressione seguente:

$$k_h \cdot S_s \cdot \gamma_{cls} \cdot \gamma_i$$

$$k_h \cdot S_b \cdot \gamma_{cls} \cdot \gamma_i$$

dove  $S_s$  e  $S_b$  sono rispettivamente lo spessore di sommità e di base del piedritto e  $\gamma_{cls}$  il peso specifico del calcestruzzo assunto pari a 25 kN/m<sup>3</sup>.

La Sovraspinta sismica è uguale a  $S \cdot a_g / g \cdot \gamma_{cls} \cdot h_{tot} \cdot \gamma_i$ .

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 dei muri ed infine la sovraspinta sismica.

*(Condizione Elementare CDC 5)*

### **11.2.5 CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO AGENTI SULLA STRUTTURA**

Si individuano tre condizioni di carico elementari, poi opportunamente combinate con i coefficienti parziali delle azioni, per la determinazione delle sollecitazioni agenti sulla struttura:

**a.1) Condizione per lo SLU** (significativa per le verifiche del paramento e della fondazione nella sezione di attacco reciproco con trazione nelle fibre inferiori).

Azioni agenti: peso proprio del paramento, spinta del terreno, spinta della falda (dove presente), spinta del sovraccarico accidentale in esercizio.

**a.2) Condizione per lo SLE** (significativa per le verifiche del paramento e della fondazione nella sezione di attacco reciproco con trazione nelle fibre inferiori).

Azioni agenti: peso proprio del paramento, spinta del terreno, spinta della falda (dove presente), spinta del sovraccarico accidentale in fessurazione.

**a.3) Condizione in fase di costruzione per lo SLU** (significativa per le verifiche nella mezzeria della fondazione con trazione nelle fibre superiori).

Azioni agenti: peso proprio della struttura (l'azione sollecitante è il peso proprio dell'elevazione).

Il calcolo delle citate azioni è riportata in apposite Tabelle riepilogative, di seguito riprodotte.

### 11.3 COMBINAZIONI DI CARICO

Le tipologie delle condizioni elementari di carico considerate sono di seguito riassunte:

CDC	Tipo	Sigla Id
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)
2	Gk	CDC=Gk (spinta terre a riposo+spinta idraulica)
3	Qk	CDC=Qk (Sovraccarico su rilevato per SLE 10kN/m <sup>2</sup> )
4	Qk	CDC=Qk (Sovraccarico su rilevato per SLU 20kN/m <sup>2</sup> )
5	Qk	CDC=Qk (sisma)

I carichi caratteristici sopra elencati (CDC), al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto per effettuare le successive verifiche, sono opportunamente combinati fra loro secondo i coefficienti di le combinazione definiti in tabella.

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	0,6*	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 RECURRENZA</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

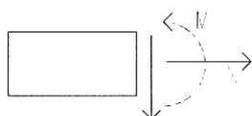
<i>STATI LIMITE ULTIMI</i>																
U I	1,5(1,0)	1,5(1,0)	1,5( $\beta_2$ )	1,2(0,85)	1,2(0)	1,2(0)	1,2(0)	0	0	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5 (**)
U II	1,5(1,0)	1,5(1,0)	1,5( $\beta_2$ )	1,2(0,85)	1,2(0)	1,2(0)	1,2(0)	1,5	1,5	0	0	0,9	1,5	1,5		
U III	1,5(1,0)	1,5(1,0)	1,5( $\beta_2$ )	1,2(0,85)	1,2(0)	1,2(0)	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		

Le combinazioni utilizzate sono riassunte di seguito..

Cmb	Tipo	CDC 1	CDC 2	CDC 3	CDC 4	CDC 5
1	SLU	1.5/1.00	1.5/1.00	0	1.5/1.00	0.0
2	SLE(A-FII)	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
3	SLE(FI)	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0
4	SLE(FIII)	1.00	1.00	0.70	0.0	0.0
5	SISMA	1.00	1.00	0	0	1.00

I valori numerici riportati nelle colonne della tabella precedente indicano il coefficienti moltiplicativi con i quali le Condizioni Elementari sono considerate.

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



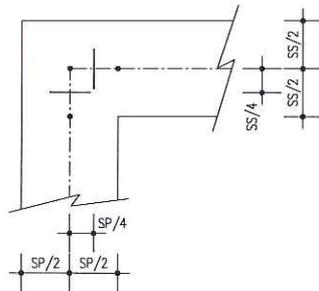
## 11.4 VERIFICHE DI RESISTENZA ED A FESSURAZIONE

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

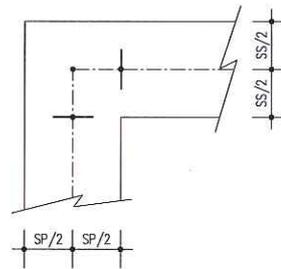
Le verifiche a flessione sono effettuate rispettivamente:

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

Le verifiche a fessurazione sono state condotte considerando:

- c) 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.
- d) 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 vigente sui ponti stradali (D.M. 4/05/1990). La massima apertura ammissibile risulta rispettivamente:

b.1) strutture poste a permanente contatto con il terreno:

Combinazione FI, FIII

$$w_k = c / c_{min} * w_1 \leq 1.5 * w_1 = 1.5 * 0.10 = 0.15 \text{ mm}$$

Combinazione FII

$$w_k = c / c_{min} * w_1 \leq 1.5 * w_1 = 1.5 * 0.20 = 0.30 \text{ mm}$$

(superfici esterne al muro ed intradosso soletta inferiore)

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  $\sigma_s < 0.70 f_{yk}$

## 11.5 CALCOLO SEZIONE

Nella tabella seguente sono riportate le dimensioni significative e il calcolo delle azioni alla base del piedritto utilizzate per le verifiche strutturali del muro, ricavate utilizzando lo schema statico di mensola incastrata alla base. Paramento verticale all'attacco fondazione

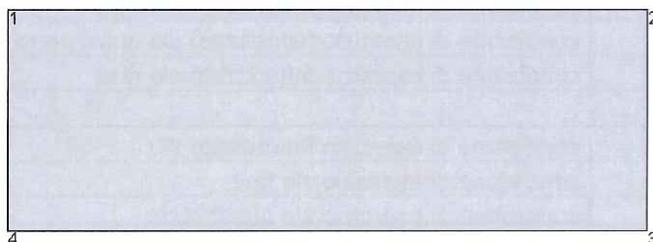
GEOMETRIA DEL MURO		(kN - m)
Altezza elevazione		2.400
Altezza terreno spingente da estradosso fondazione		2.280
Altezza battente d'acqua da estradosso fondazione di progetto		1.600
Spessore in sommità		0.350
Spessore alla base		0.350
Scarpa esterna		0.000
Semilarghezza netta interna		1.500
Sbalzo fondazione		0.200
Semilarghezza fondazione		2.050
Spessore fondazione		0.350
Spessore medio sovrastruttura stradale		0.000
Peso di volume sovrastruttura stradale		22.000
Quota della sezione di verifica		0.000
Spessore della sezione di verifica		0.350
Altezza al di sopra della sezione senza armatura integrativa		2.400
Quota terreno spingente al di sopra della sezione senza armatura integrativa		2.280
Altezza battente dell'acqua all'interno		0.000
CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL TERRENO		
Angolo di attrito del terreno		35.000
Peso di volume terreno		20.000
Peso di volume terreno immerso		10.000
coefficiente di spinta a riposo		0.426
AZIONI ALLA BASE DEL PIEDRITTO		
Sovraccarico sul terreno:		
	condizioni Slu	<b>20.000</b>
	condizioni Sle	<b>10.000</b>
Peso elevazione		<b>21.000</b>
Peso del terreno gravante su elevazione:		
	parte non immersa	2.720
	parte immersa	3.200
Spinta del terreno:		
	spinta del terreno	16.709
	spinta da sovraccarico Qe	19.445
	spinta da sovraccarico Qa	9.722
Spinta dell'acqua		12.800
Spinta dell'acqua interna		0.000
VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO		
Pesi permanenti in costruzione		<b>38.938</b>
Pressione sul terreno in costruzione		<b>18.994</b>
Totale pesi permanenti in esercizio		<b>44.858</b>
Pressione sul terreno da permanenti in		<b>21.882</b>

esercizio		
Peso acqua interna all'opera		<b>0.000</b>
Totali pesi in esercizio		<b>44.858</b>
Pressione sul terreno totale in esercizio		<b>21.882</b>
<b>SOLLECITAZIONI ALLA BASE DEL PIEDRITTO</b>		
Sforzo normale		<b>26.920</b>
	Sforzo assiale fattorizzato slu	<b>26.920</b>
	Sforzo assiale fattorizzato sle freq.	<b>26.920</b>
	Sforzo assiale fattorizzato sle quasi perm.	<b>26.920</b>
	Sforzo assiale fattorizzato sle rara	<b>26.920</b>
Momento flettente		
	per eccentricità pesi elevazione	-0.560
	spinta terreno ed acqua	<b>20.763</b>
	totale azioni permanenti	20.203
	azioni permanenti e sovraccarico Qe	<b>42.370</b>
	azioni permanenti e sovraccarico Qe fattorizzato slu	<b>63.555</b>
	azioni permanenti e sovraccarico Qa fattorizzato sle freq.	<b>27.961</b>
	azioni permanenti e sovraccarico Qa fattorizzati sle quasi perm.	<b>20.203</b>
	azioni permanenti e sovraccarico Qa fattorizzati sle rara	<b>31.286</b>
Momento flettente con trasporto a sf/4 a base dell'elevazione:		
	condizione di esercizio	<b>46.653</b>
	condizione di esercizio fattorizzato slu	69.980
	condizione di esercizio fattorizzato sle freq.	31.139
	condizione di esercizio fattorizzato sle quasi perm	22.785
	condizione di esercizio fattorizzato sle rara	34.719
Taglio dovuto alle spinte		
	condizione di esercizio fattorizzato slu	<b>70.925</b>
	condizione di esercizio sle freq.	36.315
	condizione di esercizio sle quasi perm.	29.509
	condizione di esercizio sle rara	39.231
<b>SISMA</b>		
	Accelerazione orizzontale di picco al suolo ag	0.150
	Coefficiente amplific strat. Ss	1.250
	Fattore d'importanza	1.300
	Accelerazione massima a max	0.244
	Coefficiente $\beta_m$	1.000
	Coefficiente sismico orizzontale	0.244
	Coefficiente sismico verticale	
<b>AZIONI SISMICHE ALLA BASE PIEDRITTO</b>		
	Incremento di spinta sismica	25.342
	Incremento di spinta sismica distribuito	11.115
	Inerzia del terreno imbarcato	1.443
	Inerzia piedritto in sommità	2.133
	Inerzia del piedritto alla base	2.133
<b>SOLLECITAZIONI SULLA BASE DEL PIEDRITTO IN SISMA</b>		
	Momento dovuto all'inerzia piedritto alla base	6.143
	Momento dovuto all'inerzia terreno imbarcato alla base del piedritto	2.193

	Momento dovuto alla spinta terreno ed acqua	20.763
	Momento dovuto al sisma alla base del piedritto	28.890
	Totale dei momenti in sisma alla base piedritto	57.989
	Momento con trasporto ad sf/4 dovuto all'inerzia del piedritto	6.590
	Momento con trasporto ad sf/4 dovuto all'inerzia del terreno imbarcato	2.320
	Momento con trasporto ad sf/4 dovuto alla spinta del terreno ed acqua	22.108
	Momento con trasporto ad sf/4 dovuto al sisma	31.108
	Totale dei momenti in sisma ad sf/4	62.125
	Sforzo normale a base dell'elevazione comb. Sismica	26.920
	Momento alla base dell'elevazione comb sismica	57.989
	Momento con trasporto a sf/4 comb. Sismica	62.125
	Taglio comb. Sismica	59.970

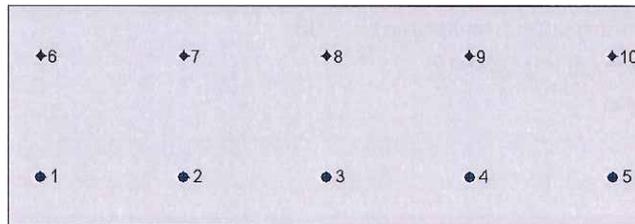
### 11.5.1 SEZIONE DEL PIEDRITTO ALL'ATTACCO FONDAZIONE

#### 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	7.9	1.5	no
2	27.5	7.9	1.5	no
3	50.0	7.9	1.5	no
4	72.5	7.9	1.5	no
5	95.0	7.9	1.5	no
6	5.0	27.1	0.8	no
7	27.5	27.1	0.8	no
8	50.0	27.1	0.8	no
9	72.5	27.1	0.8	no
10	95.0	27.1	0.8	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/m<sup>3</sup>

**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>

$\epsilon_{uk}$  (deformazione di rottura) = 0.075

G (modulo di elasticità tangenziale) = 793100 daN/cm<sup>2</sup>

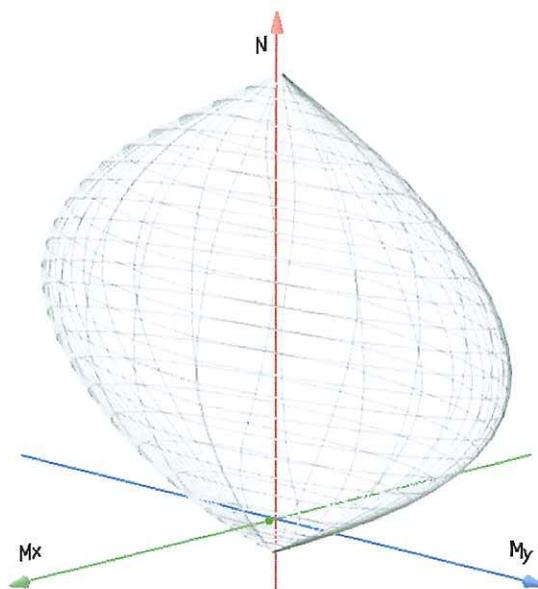
E (modulo elastico) = 2060000 daN/cm<sup>2</sup>

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	
-454.8	14.2	0.0	Completamente tesa
6206.5	-14.2	0.0	Completamente compressa
0.0	85.2	0.0	Fibre inferiori tese
0.0	-55.9	0.0	Fibre superiori tese
0.0	0.0	206.0	Fibre di sinistra tese
0.0	0.0	-206.0	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		
10.0	25.5	0.0	P	0.0	85.2	0.0	0.300	OK
			M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
			N	0.0	85.2	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		
10.0	25.5	0.0	P	0.0	85.2	0.0	0.300	OK
10.0	25.5	0.0	M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	OK
10.0	25.5	0.0	N	0.0	85.2	0.0	0.300	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	
2 OK	34.7	0.0	26.9	-4092.0	0.24	161537.8	0.51

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

Valori limite:

Fessure:  $W_{kL} = 0.30$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
3 OK	31.3	0.0	26.9	0.16	0.55

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

Valori limite:

Fessure:  $W_{kL} = 0.15$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
4 OK	27.96	0.0	28.0	0.13	0.87

**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  $W_k/W_{kL} < 1$ )

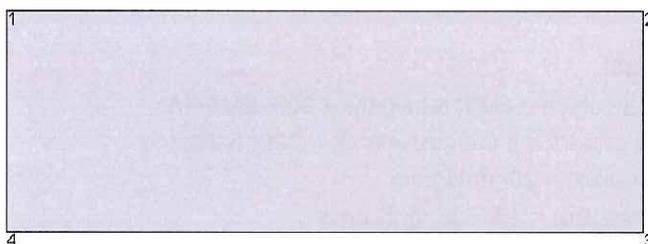
Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
5 OK	22.8	0.0	26.9	-2667.0	0.20	0.11	0.76

### Verifiche a taglio

$V_{sdu}$	70.93	kN
$M_{sdu}$	0	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$M_0$	0.000	kNm
Rck	35	N/mm <sup>2</sup>
fyk	450	N/mm <sup>2</sup>
bw	100	cm
d	27.1	cm
$\delta$	1.000	
r	1.329	m
Asl	0	cm <sup>2</sup>
c	10	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
Asw	0	cm <sup>2</sup>
passo staffe	0	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>
$\rho$	0.0000	
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
VRd1	113.683	kN

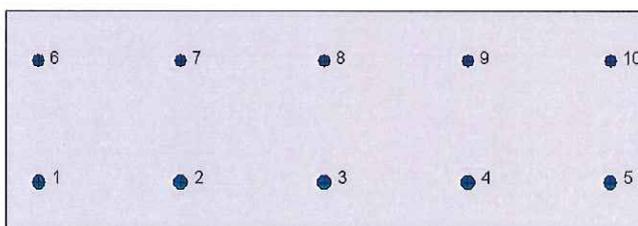
**11.5.2 SEZIONE DI FONDAZIONE ALL'ATTACCO PIEDRITTO**

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	7.9	3.1	no
2	27.5	7.9	3.1	no
3	50.0	7.9	3.1	no
4	72.5	7.9	3.1	no
5	95.0	7.9	3.1	no
6	5.0	27.1	2.5	no
7	27.5	27.1	2.5	no

8	50.0	27.1	2.5	no
9	72.5	27.1	2.5	no
10	95.0	27.1	2.5	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'

**Materiali:**

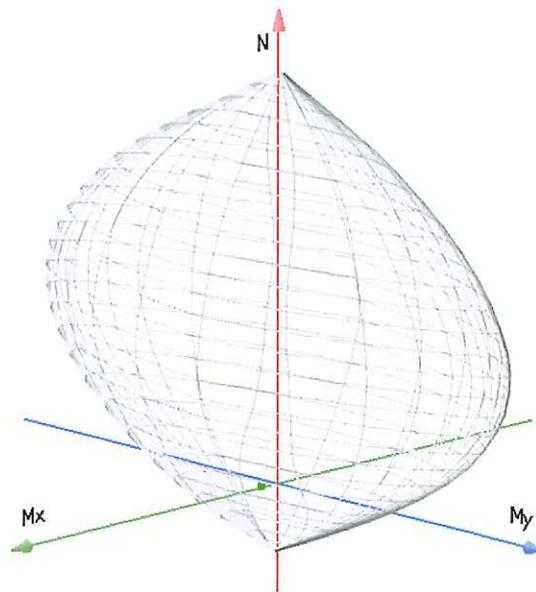
**Calcestruzzo classe: C28/35**

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) = 793100 daN/cm<sup>2</sup>  
E (modulo elastico) = 2060000 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	
-1112.5	11.2	0.0	Completamente tesa
6864.2	-11.2	0.0	Completamente compressa
0.0	161.2	0.0	Fibre inferiori tese
0.0	-137.6	0.0	Fibre superiori tese
0.0	0.0	476.8	Fibre di sinistra tese
0.0	0.0	-476.8	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		
129.5	70.0	0.0	P	71.4	169.3	0.0	0.410	OK
			M	6160.8	69.9	0.0	0.000	
			N	29.5	164.6	0.0	0.420	

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		
129.5	70.0	0.0	P	71.4	169.3	0.0	0.410	OK
129.5	70.0	0.0	M	6160.8	69.9	0.0	0.000	OK
129.5	70.0	0.0	N	29.5	164.6	0.0	0.420	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	
2 OK	34.7	0.0	29.5	-3068.2	0.18	82715.3	0.26

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

Valori limite:

Fessure:  $W_{kL} = 0.30$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
3 OK	31.3	0.0	29.5	0.08	0.27

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

Valori limite:

Fessure:  $W_{kL} = 0.15$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
4 OK	20.2	0.0	29.5	0.05	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:  $W_{kL} = 0.15$  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	
5 OK	22.8	0.0	29.5	-2008.5	0.15	0.06	0.37

Verifiche a taglio

$V_{sdu}$	31.5	kN
$M_{sdu}$	0	kNm
$N_{sdu}$	0	kN
$M_0$	0.000	kNm
$R_{ck}$	35	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$b_w$	100	cm
$d$	27.1	cm
$\delta$	1.000	
$r$	1.329	m
$A_{sl}$	0	cm <sup>2</sup>
$c$	10	cm
$\alpha$	90	gradi
$\alpha$	1.57	rad
$A_{sw}$	0	cm <sup>2</sup>
passo staffe	0	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>
$\rho$	0.0000	
<i>verifica senza armatura resistente a taglio</i>		
$VR_{d1}$	113.683	kN

## 12 VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

### 12.1 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  $q_{1.a} = 600$  kN

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

a) Peso struttura	=	$((L+2*s_p)*s_s+(b+2*s_p+2*s)*s_r+2*s_p*h)*g_{cls}$	=	112,00 kN
b) Peso sovrastruttura stradale	=	$(b+2*s_p+2*s)*H_r*g_{ri}$	=	139,40 kN
c) Peso terreno sbalzi	=	$2*s*(h+s_s)*g_t$	=	22,80 kN
d) Risultante sovraccarico mezzi	=	$Q_{1k}/L_{dtmax}$	=	149,65 kN
peso in fase di costruzione	=	$P_c = P_s$	=	112,00 kN
pressione media sul terreno in fase di costruzione	=	$P_c/(L+2*s_p+2*s)$	=	27,32 kPa
peso permanente in esercizio	=	$P_e$	=	274,20 kN

pressione media sul terreno da carichi permanenti in esercizio =  $P_e / (L + 2 \cdot s_p + 2 \cdot s_s)$  = 66,88 kPa

risultante permanenti ed accidentali  $P = P_e + Q_s + Q_i$  = 423,85 kN

pressione totale media sul terreno in esercizio  $P / (L + 2 \cdot s_p + 2 \cdot s_s)$  = 103,38 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	28÷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	6	18,5÷20,0	10÷25	18÷28	40÷120 (80)	100÷200	10-20
	6	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				250÷500	25-50
	18	25	18,5÷20,0					
	25	→	20,0					
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.

**12.1.1 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	423,85 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	4,90 m
Pressione al piano di posa delle fondazioni	98,00 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**

	Termine di coesione	Termine di profondità
$q_{lim} = c_u N_c s_c i_c b_c g_c + q$	$c_u = 50,00$	$q = 98,00$
<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>98,00</b>
Pressione media (N/A') =	103,378	kPa
Pressione limite =	355,080	kPa
<b>Pressione ammissibile: <math>P_{lim} / FS =</math></b>	<b>142,032</b>	<b>kPa</b>

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

**12.1.2 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	4,90 m
Inclinazione della base		0,00 °
Sforzo normale		423,85 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. $Z_f$		1,53 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		98,00 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	$q'$	98,00
<b><math>N_y =</math></b>	16,72	<b><math>N_c =</math></b>	25,80	<b><math>N_q =</math></b>	14,72
<b><math>s_y =</math></b>	1,00	<b><math>s_c =</math></b>	1,00	<b><math>s_q =</math></b>	1,00
<b><math>d_y =</math></b>	/	<b><math>d_c =</math></b>	1,28	<b><math>d_q =</math></b>	1,26
<b><math>i_y =</math></b>	1,00	<b><math>i_c =</math></b>	1,00	<b><math>i_q =</math></b>	1,00
<b><math>b_y =</math></b>	1,00	<b><math>b_c =</math></b>	1,00	<b><math>b_q =</math></b>	1,00
<b><math>g_y =</math></b>	1,00	<b><math>g_c =</math></b>	1,00	<b><math>g_q =</math></b>	1,00

**Fattori di :**

capacità portante
forma
approfondimento

**Fattori correttivi di :**

incl. del carico
incl. della base
incl. piano campagna

**Termini complessivi di :**

Superficie
Coesione
Profondità

<b>342,69</b>
<b>82,61</b>
<b>1819,94</b>

Pressione media (N/A') =	103,38	kPa
<b>Pressione ammissibile <math>P_{lim} / FS =</math></b>	<b>898,10</b>	<b>kPa</b>

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

## 12.2 MURI AD U

Per la verifica di portanza dei muri ad U si rimanda ai calcoli svolti per il tombino compreso nella stessa opera e che è caratterizzato da carichi gravanti sul terreno circostante molto più gravosi rispetto quelli relativi ai muri ad U stessi