

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

## PROGETTO DEFINITIVO

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

FABBRICATO TECNOLOGICO TIPO 2  
Relazione di Calcolo

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 2 6 C L F A 0 2 0 2 0 0 1 A

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

File: IV0I00D26CLFA0202001A.doc

n. Elab.: X

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	4
2.1	GEOMETRIA .....	5
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
3.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	6
3.2	ELABORATI PROGETTUALI .....	6
4	MATERIALI .....	6
4.1	ELEMENTI IN C.A. ....	6
4.2	DURABILITÀ STRUTTURALE .....	10
4.2.1	Classe di esposizione .....	10
4.2.2	Copriferro .....	11
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	13
6	ANALISI DEI CARICHI .....	14
6.1	PESI PROPRI .....	14
6.2	CARICHI PERMANENTI PORTATI .....	14
6.2.1	Tamponamenti esterni .....	15
6.3	AZIONI VARIABILI .....	18
6.3.1	Azioni variabili verticali da destinazione d'uso .....	18
6.3.2	Azioni variabili: vento .....	18
6.3.3	Azioni variabili: neve .....	25
6.3.4	Azioni variabili: temperatura .....	27
6.3.5	Azione sismica .....	27
6.3.6	Spettro di progetto per lo SLU .....	31
6.3.7	Spettro di progetto per lo Stato limite di Danno .....	32
6.3.8	Spettro di progetto per lo Stato limite di Operatività .....	32
7	COMBINAZIONI DI CALCOLO .....	33
7.1	COMBINAZIONI GEOTECNICHE .....	34
7.2	ELENCO COMBINAZIONI DI CARICO .....	36
8	MODELLO DI CALCOLO ED ANALISI STRUTTURALE .....	37
8.1.1	Origine e caratteristiche dei codici di calcolo .....	38
8.1.2	Affidabilità del codice di calcolo .....	39
8.2	CRITERI DI MODELLAZIONE DELLE MASSE STRUTTURALI .....	39
8.3	CALCOLO DELLE AZIONI INTERNE E DEGLI SPOSTAMENTI .....	40
8.3.1	Analisi dinamica modale con spettro di risposta di progetto .....	40
8.3.2	Combinazione delle riposte modali .....	40
8.3.3	Combinazione degli effetti delle componenti dell'azione sismica .....	41
9	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....	41
9.1	RISULTATI DELL'ANALISI MODALE .....	41
9.2	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....	44
10	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI OPERATIVITA' .....	53
10.1	ANALISI E CALCOLO DEGLI SPOSTAMENTI .....	53
11	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI E DI ESERCIZIO .....	55
11.1	VERIFICHE DELLE TRAVI .....	55
11.1.1	Prescrizioni sulla geometria .....	55
11.1.2	Prescrizioni sui quantitativi di armatura ed i dettagli costruttivi .....	55
11.1.3	Verifica travi a pressoflessione .....	56
11.1.4	Calcolo del taglio sollecitante di progetto .....	60
11.1.5	Definizione della lunghezza della zona critica .....	61
11.1.6	Disposizioni riguardanti le armature trasversali .....	61
11.1.7	Armatura a taglio in zona critica .....	61
11.1.8	Armatura a taglio nelle rimanenti zone della trave .....	62
11.1.9	Verifiche allo S.L.E. ....	64
11.2	VERIFICA PILASTRI .....	66

11.2.1	Geometria e limiti dimensionali .....	66
11.2.2	Azioni di progetto e resistenze.....	67
11.2.3	Resistenza a compressione .....	67
11.2.4	Dettagli costruttivi per la duttilità locale .....	67
11.2.5	Verifica a presso-flessione .....	68
11.2.6	Calcolo del taglio di progetto.....	71
11.2.7	Verifica di resistenza a taglio in zona critica.....	72
11.2.8	Verifiche in capacità pilastri e gerarchia Trave-colonna .....	72
11.2.9	Verifica S.L.E. Pilastro.....	76
11.2.10	Armature pilastri .....	78
11.3	VERIFICA TRAVI DI FONDAZIONE .....	78
12	VERIFICA SOLAI.....	83
13	VERIFICHE DELLE FONDAZIONI .....	95
13.1	GENERALITÀ .....	95
13.2	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	96
14	VERIFICA DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI .....	100
14.1	GENERALITÀ .....	100
14.1.1	Tamponatura esterna $s=30\text{cm}$ .....	101
14.2	SOLETTA INTERNA PAVIMENTO FLOTTANTE .....	102
15	GIUDIZIO MOTIVATO ACCETTABILITÀ' DEI RISULTATI .....	104

## 1 PREMESSA

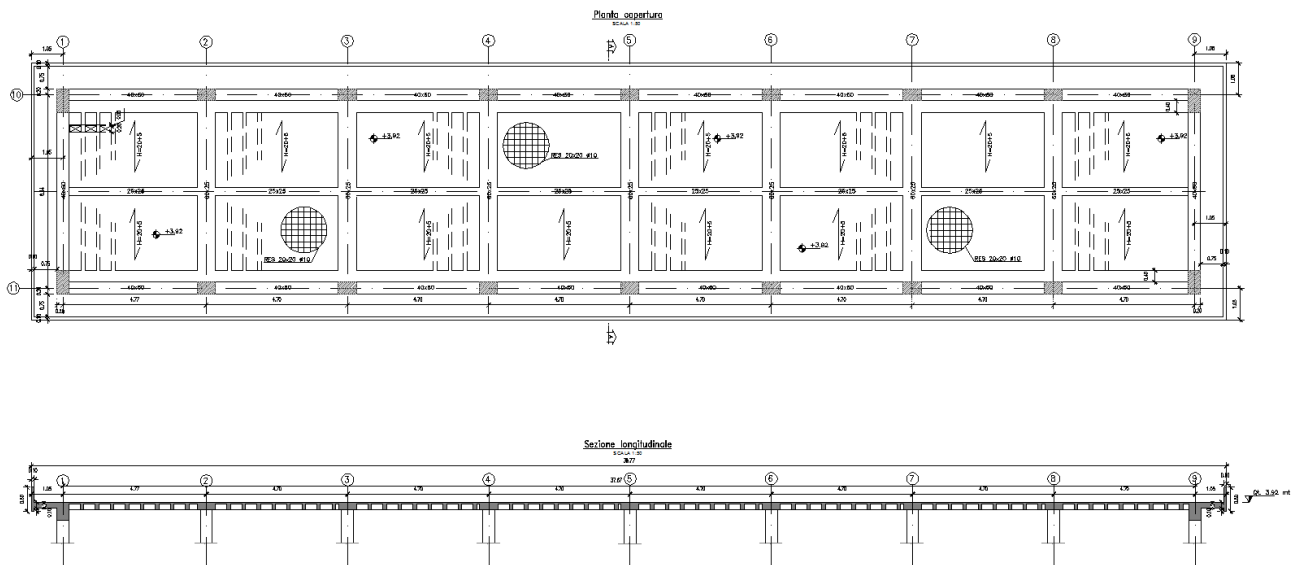
Nella presente relazione sono riportate le verifiche strutturali relative al fabbricato tecnologico "FA02" previsto dal progetto definitivo di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia tratta Finale Ligure-Andora in corrispondenza della progressiva chilometrica pk 82+395.

La nuova costruzione è posizionata nei pressi dell'imbocco della galleria Croce lato Ventimiglia.

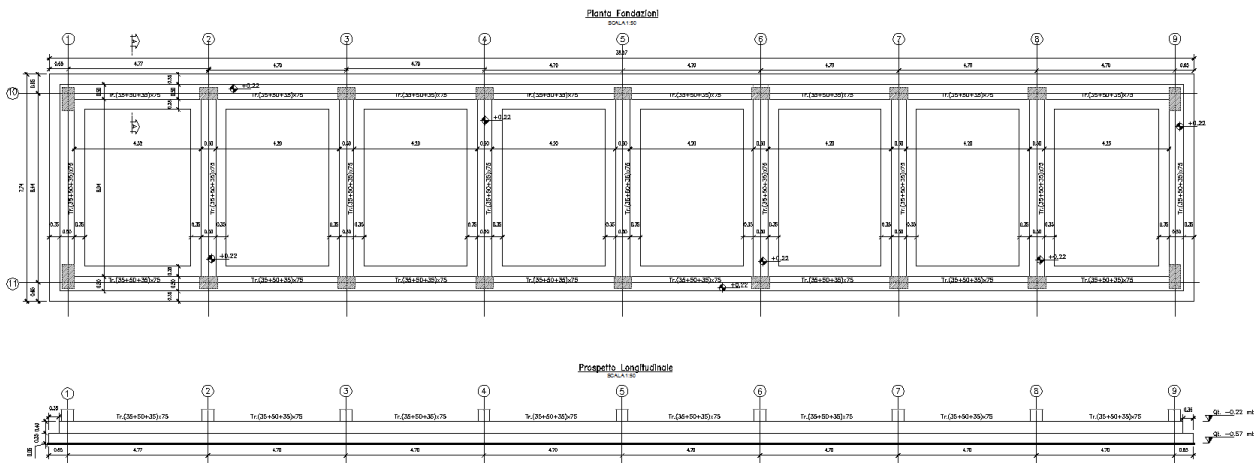
## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'edificio è caratterizzato da una pianta rettangolare allungata di ingombro strutturale massimo 38.07 x 6.84 m circa e si articola in un unico livello fuori terra con copertura piana. La fondazione sarà realizzata con un graticcio di travi di fondazione gettate sopra un magrone di pulizia di almeno 10 cm di spessore. Le travi di fondazione perimetrali avranno una sezione "a T rovescia" con soletta inferiore 120x35 cm ed anima 50x40 cm. Dalle travi di fondazione spiccheranno dei pilastri a sezione rettangolare 80x40 cm agli spigoli ovvero 60x40 cm lungo lo sviluppo longitudinale collegati perimetralmente da una trave di riva a sezione rettangolare 40x60 cm ed internamente da travi in spessore di solaio 60x30 cm. Le travi perimetrali sosterranno il solaio di copertura tessuto in direzione parallela al lato corto dell'edificio; il solaio è realizzato in laterocemento a travetti prefabbricati  $h = 25 + 5 = 30$  cm. La gronda perimetrale della copertura di oggetto massimo di 1.05 m sarà del tipo a soletta piena di spessore 20 cm. Le pareti perimetrali esterne saranno realizzate con elementi in laterizio forato porizzato dello spessore di 30 cm (lato interno); da un cappotto dello spessore di 10 cm e da un rivestimento esterno sempre in elementi in laterizio dello spessore di 8 cm; il tutto sia internamente che esternamente intonacato con interposizione di rete plastica termosaldada avente funzione antiribaltamento per le murature.

## 2.1 Geometria



**Figura 1 – pianta e sezione copertura**



**Figura 2 – pianta e sezione fondazioni**

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Normative di riferimento

- [1]. L. n. 1086 del 5/11/1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- [2]. L. n. 64 del 2/2/1974 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- [3]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- [4]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- [5]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- [6]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- [7]. RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- [8]. RFI DTC SI PS SP IFS 001 E – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili. Parte II – Sezione 6 - Opere in conglomerato cementizio e in acciaio;
- [9]. UNI EN 206-1:2006 Parte 1: Calcestruzzo-Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- [10]. UNI EN 1991-1-2 (2005) - Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-2: Regole generali
- [11]. UNI EN 1997-1 (2005) - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [12]. UNI EN 1998-1 (2005) - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- [13]. UNI EN 1998-5 (2005) - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [14]. D.M. 31.07.2012: Approvazione delle Appendici Nazionali recanti i parametri tecnici per l’applicazione degli Eurocodici.

#### 3.2 Elaborati progettuali

IV0I00D26ABFA0102001A  
IV0I00D26ABFA0102002A  
IV0I00D26BBFA0102001A  
IV0I00D26P8FA0103002A  
IV0I00D26BCFA0104001A

### 4 MATERIALI

#### 4.1 Elementi in c.a.

Per le strutture di fondazione ed elevazione, sono prescritti materiali di qualità certificata; di seguito sono riportati i valori di calcolo per i materiali.

Calcestruzzo per fondazione ( $\gamma_m = 1,5$ ): **Classe C25/30**

PROPRIETA' MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO	
$R_{ck} = 30$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cubica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni
$f_{ck} = 25$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo <i>Anche <math>f_{ck} = 0.83 * R_{ck}</math></i>
$f_{cd} = 14.17$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo $f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$
$\alpha_{cc} = 0.85$	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c = 1.50$	Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = 33$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo $f_{cm} = f_{ck} * 8$ [N/mm <sup>2</sup> ]
$E_{cm} = 31476$ N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico (di Young) da assumere in sede di progettazione per il cls $E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ctm} = 2.56$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo $f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3}$ [N/mm <sup>2</sup> ] per classi $\leq C50/60$ $f_{ctm} = 2.12 * \ln[1 + (f_{cm} / 10)]$ [N/mm <sup>2</sup> ] per classi $> C50/60$
$f_{ctk,0.05} = 1.80$ N/mm <sup>2</sup>	Valore caratteristico della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 5% $f_{ctk,0.05} = 0.7 * f_{ctm}$
$f_{ctd,0.05} = 1.20$ N/mm <sup>2</sup>	Valore di progetto della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 5% $f_{ctd,0.05} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c$
$f_{bk,0.05} = 4.04$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza corrispondente al frattile 5%) $f_{bk} = 2,25 * \eta * f_{ctk,0.05}$ $\eta = 1$ per barre di diametro $\phi \leq 32mm$ $\eta = (132 - \phi) / 100$ per barre di diametro superiore
$f_{bd,0.05} = 2.69$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 5%) $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$
$f_{ctk,0.95} = 3.33$ N/mm <sup>2</sup>	Valore caratteristico della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 95% $f_{ctk,0.95} = 1.3 * f_{ctm}$
$f_{ctd,0.95} = 2.22$ N/mm <sup>2</sup>	Valore di progetto della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 95% $f_{ctd,0.95} = f_{ctk,0.95} / \gamma_c$
$f_{bk,0.95} = 7.50$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 95%) $f_{bk} = 2,25 * \eta * f_{ctk,0.95}$ $\eta = 1$ per barre di diametro $\phi \leq 32mm$ $\eta = (132 - \phi) / 100$ per barre di diametro superiore
$f_{bd,0.95} = 5.00$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 95) $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$
$f_{ctm} = 3.08$ N/mm <sup>2</sup>	Valor medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm} = 1.2 * f_{ctm}$

Calcestruzzo per pilastri ( $\gamma_m = 1,5$ ): **Classe C30/37**

PROPRIETA' MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO	
$R_{ck} = 37 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica cubica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni
$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo <i>Anche <math>f_{ck} = 0.83 * R_{ck}</math></i>
$f_{cd} = 17.00 \text{ N/mm}^2$	Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo <i><math>f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c</math></i>
$\alpha_{cc} = 0.85$	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c = 1.50$	Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = 38 \text{ N/mm}^2$	Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo <i><math>f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ [N/mm}^2\text{]}</math></i>
$E_{cm} = 32837 \text{ N/mm}^2$	Modulo elastico (di Young) da assumere in sede di progettazione per il cls <i><math>E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} \text{ [N/mm}^2\text{]}</math></i>
$f_{ctm} = 2.90 \text{ N/mm}^2$	Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo <i><math>f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3} \text{ [N/mm}^2\text{]}</math> per classi <math>\leq C50/60</math> <i><math>f_{ctm} = 2.12 * \ln[1 + (f_{cm} / 10)] \text{ [N/mm}^2\text{]}</math> per classi <math>&gt; C50/60</math></i></i>
$f_{ctk,0.05} = 2.03 \text{ N/mm}^2$	Valore caratteristico della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 5% <i><math>f_{ctk,0.05} = 0.7 * f_{ctm}</math></i>
$f_{ctd,0.05} = 1.35 \text{ N/mm}^2$	Valore di progetto della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 5% <i><math>f_{ctd,0.05} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c</math></i>
$f_{bk,0.05} = 4.56 \text{ N/mm}^2$	Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza corrispondente al frattile 5%) <i><math>f_{bk} = 2,25 * \eta * f_{ctk,0.05}</math> <math>\eta = 1</math> per barre di diametro <math>\phi \leq 32 \text{ mm}</math> <math>\eta = (132 - \phi) / 100</math> per barre di diametro superiore</i>
$f_{bd,0.05} = 3.04 \text{ N/mm}^2$	Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 5%) <i><math>f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c</math></i>
$f_{ctk,0.95} = 3.77 \text{ N/mm}^2$	Valore caratteristico della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 95% <i><math>f_{ctk,0.95} = 1.3 * f_{ctm}</math></i>
$f_{ctd,0.95} = 2.51 \text{ N/mm}^2$	Valore di progetto della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 95% <i><math>f_{ctd,0.95} = f_{ctk,0.95} / \gamma_c</math></i>
$f_{bk,0.95} = 8.47 \text{ N/mm}^2$	Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 95%) <i><math>f_{bk} = 2,25 * \eta * f_{ctk,0.95}</math> <math>\eta = 1</math> per barre di diametro <math>\phi \leq 32 \text{ mm}</math> <math>\eta = (132 - \phi) / 100</math> per barre di diametro superiore</i>
$f_{bd,0.95} = 5.65 \text{ N/mm}^2$	Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 95) <i><math>f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c</math></i>
$f_{cfm} = 3.48 \text{ N/mm}^2$	Valor medio della resistenza a trazione per flessione <i><math>f_{cfm} = 1.2 * f_{ctm}</math></i>



Calcestruzzo per solaio di copertura ed aggetti ( $\gamma_m = 1,5$ ): **Classe C32/40**

PROPRIETA' MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO	
$R_{ck} = 40$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cubica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni
$f_{ck} = 32$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo <i>Anche <math>f_{ck} = 0.83 * R_{ck}</math></i>
$f_{cd} = 18,13$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo $f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$
$\alpha_{cc} = 0,85$	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c = 1,50$	Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = 40$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo $f_{cm} = f_{ck} + 8$ [N/mm <sup>2</sup> ]
$E_{cm} = 33346$ N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico (di Young) da assumere in sede di progettazione per il cls $E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ctm} = 3,02$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo $f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3}$ [N/mm <sup>2</sup> ] per classi $\leq C50/60$ $f_{ctm} = 2.12 + \ln[1 + (f_{cm} / 10)]$ [N/mm <sup>2</sup> ] per classi $> C50/60$
$f_{ctk,0.05} = 2,12$ N/mm <sup>2</sup>	Valore caratteristico della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 5% $f_{ctk,0.05} = 0.7 * f_{ctm}$
$f_{ctd,0.05} = 1,41$ N/mm <sup>2</sup>	Valore di progetto della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 5% $f_{ctd,0.05} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c$
$f_{bk,0.05} = 4,76$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza corrispondente al frattile 5%) $f_{bk} = 2,25 * \eta * f_{ctk,0.05}$ $\eta = 1$ per barre di diametro $\phi \leq 32mm$ $\eta = (132 - \phi) / 100$ per barre di diametro superiore
$f_{bd,0.05} = 3,18$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 5%) $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$
$f_{ctk,0.95} = 3,93$ N/mm <sup>2</sup>	Valore caratteristico della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 95% $f_{ctk,0.95} = 1.3 * f_{ctm}$
$f_{ctd,0.95} = 2,62$ N/mm <sup>2</sup>	Valore di progetto della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 95% $f_{ctd,0.95} = f_{ctk,0.95} / \gamma_c$
$f_{bk,0.95} = 8,84$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 95%) $f_{bk} = 2,25 * \eta * f_{ctk,0.95}$ $\eta = 1$ per barre di diametro $\phi \leq 32mm$ $\eta = (132 - \phi) / 100$ per barre di diametro superiore
$f_{bd,0.95} = 5,90$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 95%) $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$
$f_{cfm} = 3,63$ N/mm <sup>2</sup>	Valor medio della resistenza a trazione per flessione $f_{cfm} = 1.2 * f_{ctm}$

- Acciaio ordinario per elementi in c.a. ( $\gamma_m = 1,15$ ): **B450C**

PROPRIETA' MECCANICHE DELL'ACCIAIO	
$f_{y,nom} = 450 \text{ N/mm}^2$	Valore nominale della tensione di snervamento (frattile 5%)
$f_{t,nom} = 540 \text{ N/mm}^2$	Valore nominale della tensione di rottura (frattile 5%)
$f_{yk} \geq f_{y,nom}$	Tensione caratteristica di snervamento (frattile 5%)
$f_{tk} \geq f_{t,nom}$	Tensione caratteristica di rottura (frattile 5%)
$f_{yd} = 3913 \text{ daN/cm}^2$	Resistenza di calcolo dell'acciaio $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$
$\gamma_s = 1,50$	Coefficiente parziale di sicurezza
$E_s = 2000000 \text{ daN/cm}^2$	Modulo elastico (di Young) dell'acciaio
$1,15 \leq (f_t/f_{yk})_k \leq 1,35$	Rapporti di duttilità (frattile 10%)
$(A_{gt})_k \geq 7,5\%$	Allungamento (frattile 10%)

## 4.2 Durabilità strutturale

### 4.2.1 Classe di esposizione

La durabilità di un'opera dipende dalle condizioni ambientali e dalle azioni di tipo chimico-fisiche che possono interessare gli elementi strutturali nell'arco della vita utile della struttura. Tali azioni, non prese in conto nell'analisi strutturale, richiedono un'opportuna scelta del materiale strutturale ed adeguate disposizioni costruttive.

Il requisito di durabilità si ritiene soddisfatto quando la struttura, per il periodo di vita previsto, è in grado di assolvere le sue funzioni senza limitazioni d'uso essendo soggetta solo a manutenzione ordinaria.

Per ottenere strutture durabili la EN 206-1:2001 (indicata esplicitamente dalle NTC18) richiede che siano soddisfatti i seguenti criteri per i componenti realizzati in c.a.:

- classificazione degli elementi strutturali in idonee classi di esposizione;
- impiego di calcestruzzo di adeguata composizione;
- protezione dell'armatura metallica

Le condizioni ambientali prevalenti degli elementi strutturali e le tipologie di calcestruzzi sono riportate nelle seguenti tabelle:

### - Calcestruzzo fondazione

CLASSI DI ESPOSIZIONE (UNI-EN 206-1:2006)						
Ambiente	classe di esposizione	Min Classe di Resistenza	Max rapporto a/c	Min contenuto di aria [%]	Dosaggio minimo cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	Condizioni ambientali
Assenza di rischio di corrosione o attacco	-	-	-	-	-	-
Corrosione indotta da carbonatazione	XC2	C25/30	0.6	-	280	Ordinarie
Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare	-	-	-	-	-	-
Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare	-	-	-	-	-	-
Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti	-	-	-	-	-	-
Attacco chimico	-	-	-	-	-	-

**- Calcestruzzo pilastri**

CLASSI DI ESPOSIZIONE (UNI-EN 206-1:2006)						
Ambiente	classe di esposizione	Min Classe di Resistenza	Max rapporto a/c	Min contenuto di aria [%]	Dosaggio minimo cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	Condizioni ambientali
Assenza di rischio di corrosione o attacco	-	-	-	-	-	-
Corrosione indotta da carbonatazione	XC3	C30/37	0.55	-	320	Ordinarie
Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare	-	-	-	-	-	-
Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare	-	-	-	-	-	-
Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti	-	-	-	-	-	-
Attacco chimico	-	-	-	-	-	-

**- Calcestruzzo travi, solai e copertura**

CLASSI DI ESPOSIZIONE (UNI-EN 206-1:2006)						
Ambiente	classe di esposizione	Min Classe di Resistenza	Max rapporto a/c	Min contenuto di aria [%]	Dosaggio minimo cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	Condizioni ambientali
Assenza di rischio di corrosione o attacco	-	-	-	-	-	-
Corrosione indotta da carbonatazione	XC4	C32/40	0.5	-	340	Aggressive
Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare	-	-	-	-	-	-
Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare	-	-	-	-	-	-
Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti	-	-	-	-	-	-
Attacco chimico	-	-	-	-	-	-

**4.2.2 Copriferro**

Con riferimento al punto 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella tabella C4.1.IV della Circolare 2019, riportata di seguito, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC.

I valori della Tabella C4.1.IV si riferiscono a costruzioni con vita nominale di 50 anni (Tipo 2 secondo la Tabella 2.4.I delle NTC). Per costruzioni con vita nominale di 100 anni (Tipo 3 secondo la citata Tabella 2.4.I) i valori della Tabella C4.1.IV vanno aumentati di 10 mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p elementi a piastra		cavi da c.a.p altri elementi	
Cmin	Co	ambiente	C $\geq$ Co	Cmin $\leq$ C<Co	C $\geq$ Co	Cmin $\leq$ C<Co	C $\geq$ Co	Cmin $\leq$ C<Co	C $\geq$ Co	Cmin $\leq$ C<Co
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Ai valori riportati nella tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm.

Si riportano di seguito i copriferri adottati, determinati in funzione della classe del cls e delle condizioni ambientali.

	ambiente	Copriferro minimo	Tolleranza di posa	Vita Nominale	Copriferro nominale
Travi	Aggressivo	35	10	10	55
Pilastrati	Ordinario	25	10	10	45
Fondazioni	Ordinario	25	10	10	45

#### 4.2.2.1 Ampiezza massima delle fessure

##### Condizioni di aggressività per i vari tipi di opere e limiti di apertura delle fessure

Secondo le prescrizioni delle NTC 2018, Tab. 4.1.III.

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	XC0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

##### Condizioni di aggressività per opere di fondazione ed in elevazione

Per la classe XC2 delle fondazioni ricadiamo in **condizioni ordinarie**.

Per la classe XC3 delle elevazioni dei pilastrati ricadiamo in **condizioni ordinarie**.

Per la classe XC4 delle elevazioni di travi, solai e solette in **condizioni aggressive**.

In relazione al MdP "RFI DTC SI PS MA IFS 001 E" §2.5.1.8.3.2.4 aAvendo armature poco sensibili si ha:

Per le fondazioni:

Limite di apertura delle fessure per Combinazione di azioni rara  $\delta \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$

Per le elevazioni (pilastrati):

Limite di apertura delle fessure per Combinazione di azioni rara  $\delta \leq w_2 = 0.3 \text{ mm}$

Per le elevazioni (travi):

Limite di apertura delle fessure per Combinazione di azioni rara  $\delta \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$

#### 4.2.2.2 Valori limite delle tensioni

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

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

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

### Tensioni di trazione nell'acciaio

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

## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

La stratigrafia dei terreni con i quali la struttura interagisce è stata determinata in base al profilo geotecnico di Pietra Ligure (documento L371 00 D26 F5 GE0005 003A) e alla relazione geotecnica della tratta Finale Ligure – Andora, relativa alle tratte all'aperto (documento L371 00 D26 RB GE0005 001A).

Si riporta di seguito la successione stratigrafica dei terreni in corrispondenza dell'opera in esame:

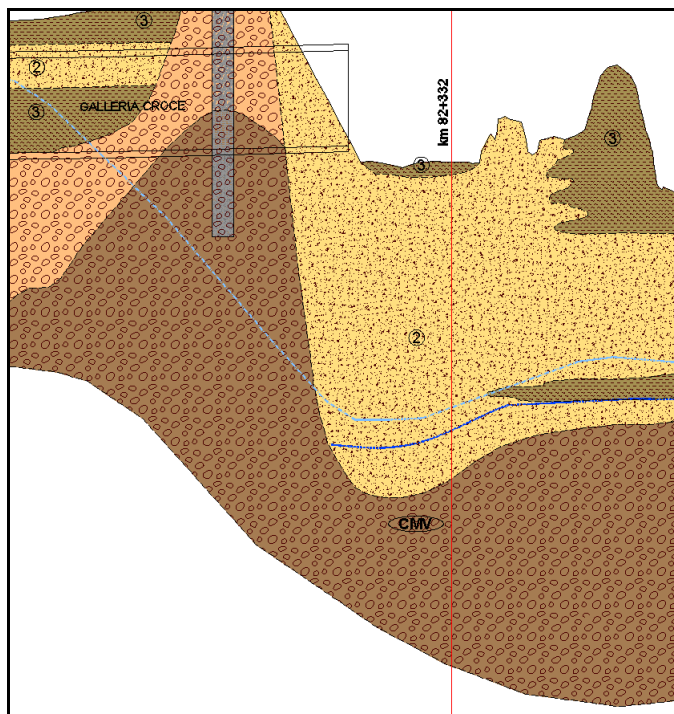
Quota limiti strati (m s.l.m.)	Spessore strato (m)	Formazione
<b>(+25.00)</b>	-	(Piano campagna)
<b>+24.0</b>	1.00	Unità 3
<b>-4.0</b>	28.0	Unità 2
<b>-21</b>	17.0	CMV

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$E'$ [MPa]	$\nu$	OCR
<b>Unità 2</b>	20	-	0÷10	28÷30	25÷45	0.3	-
<b>Unità 3</b>	20	50÷150	5÷20	22÷28	5÷15	0.3	3÷10

**UNITA'2:** Depositi alluvionali incoerenti, costituiti prevalentemente da sabbia e ghiaia

**UNITA'3:** Depositi alluvionali coesivi, costituiti prevalentemente da limo e argilla

La falda è considerata a +1 m s.l.m. ovvero ad una profondità di 26 m dal piano di posa di fondazione.



**Figura 3: Profilo geotecnico in prossimità della progressiva Km 82+332**

## 6 ANALISI DEI CARICHI

Per le analisi dei carichi si è fatto riferimento al D.M. 17.01.2018.

### 6.1 Pesì propri

Il peso proprio delle strutture di elevazione in c.a. è imputato alla struttura direttamente dal programma di calcolo utilizzato assumendo un peso specifico per il cemento armato pari a 25.00 kN/m<sup>3</sup>.

### 6.2 Carichi permanenti portati

I carichi permanenti e variabili applicati alla struttura sono quelli dovuti a:

#### Solaio copertura (cat. H) – carico tipo 1

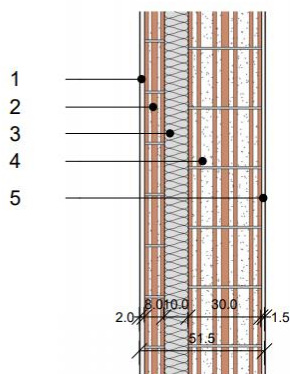
- Peso proprio solaio	3,50 kN/mq
- massetto pendenze	1,20 kN/mq
- impermeabilizzazione	0,10 kN/mq
- intonaco inferiore	0,20 kN/mq
<b>TOTALE PESO PROPRIO</b>	<b>3,50 kN/mq</b>
<b>TOTALE PERMANENTI</b>	<b>1,50 kN/mq</b>

**Solaio copertura – gronda (cat. H) – carico tipo 2**

- Peso proprio soletta s=20 cm	5,00 kN/mq
- massetto pendenze	1,20 kN/mq
- impermeabilizzazione	0,10 kN/mq
- intonaco inferiore	0,20 kN/mq
<b>TOTALE PESO PROPRIO</b>	<b>5,00 kN/mq</b>
<b>TOTALE PERMANENTI</b>	<b>1,50 kN/mq</b>

**6.2.1 Tamponamenti esterni**

**M1** TAMPONATURA ESTERNA  
1 : 20



Numero Strato	Descrizione Materiale	Spessore [cm]
1	Intonaco premiscelato e tinteggiatura per esterni	2.0
2	Blocco in termolaterizio porizzato	8.0
3	Pannello isolante in EPS 150 ( $\lambda = 0,033$ W/mK)	10.0
4	Blocco in termolaterizio porizzato	30.0
5	Intonaco civile liscio premiscelato tinteggiato con idropittura lavabile	1.5

NB - Per solidarizzare la muratura esterna di spessore pari a 8 cm allo strato portante interno della parete, si prevede la disposizione di collegamenti puntuali diffusi.

I blocchi in lateriziopresenano un peso complessivo pari a  $(0.30 + 0.08) \times 8,00 = 3.04$  kN/m<sup>2</sup> a cui va aggiunto il peso delle due facce di intonaco pari a 0.30 kN/m<sup>2</sup>

Il peso complessivo della parete è pari a 3,34 kN/mq. Tale carico viene dal programma di calcolo moltiplicato per l'altezza del pannello di tamponatura per ottenere un carico uniformemente ripartito sulla lunghezza della tamponatura. L'assegnazione del carico avviene direttamente sopra le travi di fondazione.

I blocchi portanti si assumono avere le seguenti caratteristiche meccaniche, utili per le verifiche degli elementi secondari:

CARATTERISTICHE DEI BLOCCHI	
Range di spessori in produzione	20 ÷ 45 (cm)
Classificazione del blocco	semipieno
Peso specifico apparente del blocco	~ 800 ÷ 860 (kg/m <sup>3</sup> )
Percentuale di foratura, $\phi$	≤ 45%
Resistenza caratteristica in direzione dei carichi verticali, $f_{bk}$	> 8,0 (N/mm <sup>2</sup> )
Res. caract. in dir. ortogonale ai carichi verticali e nel piano del muro, $f'_{bk}$	> 1,5 (N/mm <sup>2</sup> )

**MALTE PER MURATURA**

E' previsto l'impiego di malta a prestazione garantita del tipo M10:

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo</b>	COMMESSA <b>IV01</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 26 CL</b>	DOCUMENTO <b>FA0202 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>16 di 104</b>

Tab. 11.10.II - Classi di malte a prestazione garantita

Classe	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistenza a compressione N/mm <sup>2</sup>	2,5	5	10	15	20	d

d è una resistenza a compressione maggiore di 25 N/mm<sup>2</sup> dichiarata dal fabbricante

## PARAMETRI MECCANICI CARATTERISTICI DELLA MURATURA

In sede di progetto il valore di resistenza caratteristica a compressione della muratura  $f_k$  può essere dedotto dalla resistenza a compressione degli elementi e dalla classe di appartenenza della malta tramite la Tabella 11.10.VI della **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Tab. 11.10.VI - Valori di  $f_k$  per murature in elementi artificiali pieni e semipieni (valori in N/mm<sup>2</sup>)

Resistenza caratteristica a compressione $f_{bk}$ dell'elemento N/mm <sup>2</sup>	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2,5
2,0	1,2	1,2	1,2	1,2
3,0	2,2	2,2	2,2	2,0
5,0	3,5	3,4	3,3	3,0
7,5	5,0	4,5	4,1	3,5
10,0	6,2	5,3	4,7	4,1
15,0	8,2	6,7	6,0	5,1
20,0	9,7	8,0	7,0	6,1
30,0	12,0	10,0	8,6	7,2
40,0	14,3	12,0	10,4	-

$$f_k = 4.60 \text{ Mpa}$$

Per le finalità di questo paragrafo, per le murature formate da elementi artificiali pieni o semipieni, il valore della resistenza caratteristica a taglio  $f_{vk0}$  è dedotto dalla resistenza a compressione degli elementi tramite la Tabella 11.10.VIII della **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**



Tab. 11.10.VIII - Resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali  $f_{vk0}$  (valori in N/mm<sup>2</sup>)

Elementi per muratura	$f_{vk0}$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	Malta ordinaria di classe di resistenza data	Malta per strati sottili (giunto orizzontale $\geq 0,5$ mm e $\leq 3$ mm)	Malta alleggerita
Laterizio	M10 - M20	0,30	0,30*
	M2,5 - M9	0,20	
	M1 - M2	0,10	
Silicato di calcio	M10 - M20	0,20	0,20**
	M2,5 - M9	0,15	
	M1 - M2	0,10	
Calcestruzzo vibrocompresso Calcestruzzo areato autoclavato Pietra artificiale e pietra naturale a massello	M10 - M20	0,20	0,20**
	M2,5 - M9	0,15	
	M1 - M2	0,10	

 \* valore valido per malte di classe M10 o superiore e resistenza dei blocchi  $f_{bk} \geq 5.0$  N/mm<sup>2</sup>

 \*\* valore valido per malte di classe M5 o superiore e resistenza dei blocchi  $f_{bk} \geq 3.0$  N/mm<sup>2</sup>

$$f_{vk0} = 0.30 \text{ Mpa}$$

 Analogamente i moduli secanti di elasticità a flessione taglio sono definiti dalla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

 modulo di elasticità normale secante  $E = 1000 f_k = 4600$  Mpa

 modulo di elasticità tangenziale secante  $G = 0.4 E = 1840$  MPa

## RESISTENZE DI PROGETTO DELLA MURATURA

La resistenza di progetto a compressione utilizzata per le verifiche dei tamponamenti vale:

$$f_d = f_k / \gamma_M$$

dove

 $f_k$  è la resistenza caratteristica a compressione della muratura.

Nella fattispecie si ipotizza una classe di esecuzione 2 e si assunto una muratura con elementi resistenti di categoria I per cui:

$$\gamma_M = 2.5$$

 Tab. 4.5.II. Valori del coefficiente  $\gamma_M$  in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti

Materiale	Classe di esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a composizione prescritta	2,2	2,7
Muratura con elementi resistenti di categoria II, ogni tipo di malta	2,5	3,0

Per cui:  $f_d = 4.60/2.5 = 1.84$  MPa

### 6.3 Azioni variabili

#### 6.3.1 Azioni variabili verticali da destinazione d'uso

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti  $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>],
- carichi verticali concentrati  $Q_k$  [kN].
- carichi orizzontali lineari  $H_k$  [kN/m]

I valori nominali e/o caratteristici  $q_k$ ,  $Q_k$  ed  $H_k$  sono riportati nella Tab. 3.1.II della [3]. Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di risonanza delle strutture.

I carichi verticali concentrati  $Q_k$  formano oggetto di verifiche locali distinte e non vanno sovrapposti ai corrispondenti carichi verticali ripartiti; essi devono essere applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento.

Dal paragrafo 3.1.4 del D.M. '18, nel caso di specie si ha una sola di carico di esercizio:

- Solai di copertura

#### Solai interni e copertura

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
H	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	<b>2.00</b>	1.20	1.00

**Per il carico di esercizio in copertura è stato assunta una intensità di  $q_k=2,00$  kN/mq invece del valore 0,50 kN/mq stabilito dalla normativa.**

#### 6.3.2 Azioni variabili: vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti definite al § 3.3.3 delle NTC18.

#### VELOCITÀ BASE DI RIFERIMENTO

La velocità base di riferimento  $v_b$  è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza sul suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferito ad un periodo di ritorno  $T_R = 50$  anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche,  $v_b$  è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_r$$

$v_{b,0}$  è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata nella Tab. 3.3.I delle NTC18 in funzione della zona in cui sorge la costruzione;

$c_r$  è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_a \left( \frac{a_s}{a_0 - 1} \right) \quad \text{per } a_0 \leq a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

 $a_0, k_s$  sono parametri forniti nella Tab. 3.3.I in funzione della zona in cui sorge la costruzione (Fig. 3.3.1);

 $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

 Tab. 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_s$ 

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

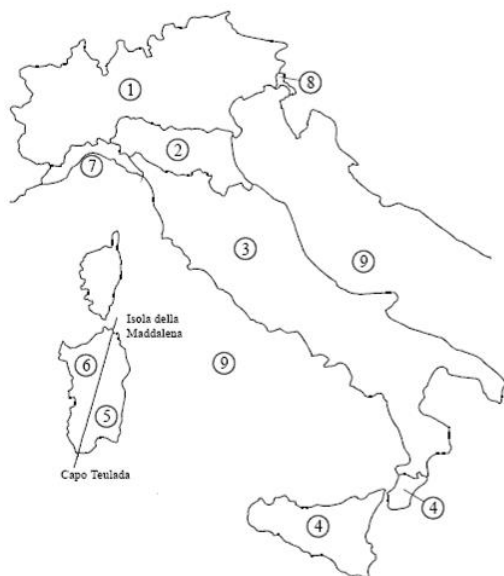


Figura 3.3.1 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

La velocità di riferimento  $v_r$  è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferito al periodo di ritorno di progetto  $T_R$ . Tale velocità è definita dalla relazione:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_r$$

dove

$v_b$  è la velocità base di riferimento, di cui al § 3.3.1 delle NTC18;

$c_r$  è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto  $T_R$ .

In mancanza di specifiche e adeguate indagini statistiche, il coefficiente di ritorno è fornito dalla relazione:

$$c_r = 0.75 \sqrt{1 - 0.2 \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}$$

dove  $T_R$  è il periodo di ritorno espresso in anni.

Si assumerà  $T_R = 75$  anni, cui corrisponde  $c_r = 1.04$ .

#### AZIONI STATICHE EQUIVALENTI

Le azioni del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione.

#### PRESSIONE DEL VENTO

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

dove

$q_r$  è la pressione cinetica di riferimento;

$c_e$  è il coefficiente di esposizione;

$c_p$  è il coefficiente di pressione;

$c_d$  è il coefficiente dinamico.

#### PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

La pressione cinetica di riferimento  $q_r$  è data dall'espressione:

$$q_r = \frac{1}{2} \rho \cdot v_r^2$$

dove

$v_r$  è la velocità di riferimento del vento;

$\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

Esprimendo  $\rho$  in kg/m<sup>3</sup> e  $v_r$  in m/s,  $q_r$  risulta espresso in N/m<sup>2</sup>.

#### COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m, esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[ 7 + \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \quad \text{per } z > z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z \leq z_{\min}$$

dove

$k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  sono assegnati in Tab. 3.3.II in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

$c_t$  è il coefficiente di topografia.

Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	$K_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

La categoria di esposizione è assegnata in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno definita in Tab. 3.3.III.

Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

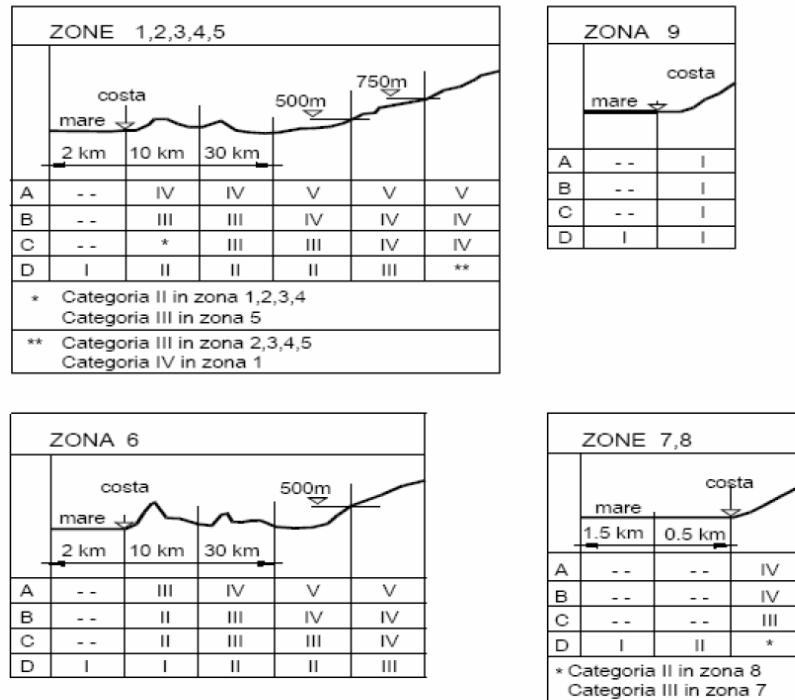


Fig. 3.3.2 - Definizione delle categorie di esposizione

**COEFFICIENTI AERODINAMICI**

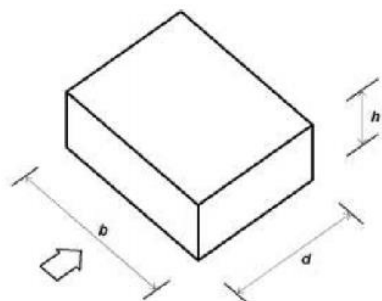
Il coefficiente di pressione  $c_p$  dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento.

Il coefficiente d'attrito  $c_f$  dipende dalla scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente.

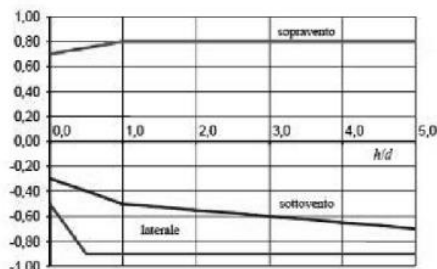
**EDIFICI A PIANTA RETTANGOLARE CON COPERTURE PIANE, A FALDE, INCLINATE E CURVILINEE**

Per la valutazione della pressione esterna si assumeranno gli schemi di seguito riportati per edifici a pianta rettangolare con copertura inclinata come l'edificio del caso di specie.

Pareti verticali i coefficienti globali  $c_{pe}$  da assumere sulle pareti di un edificio a pianta rettangolare sono riportati in Figura C3.3.2 e in Tabella C3.3.I delle NTC2018



(a)



(b)

a) Parametri caratteristici di edifici a pianta rettangolare,

b) Edifici a pianta rettangolare:  $c_{pe}$  per facce sopravvento, sottovento e laterali

**Figura C3.3.2**

**Tabella C3.3.1:** Edifici a pianta rettangolare:  $c_{pe}$  per facce sopravvento, sottovento e laterali

Faccia sopravvento	$C_U = 2,0$	$C_U = 1,5$
$h/d \leq 1$ : $c_{pe} = 0,7 + 0,1 \cdot h/d$	$h/d \leq 0,5$ : $c_{pe} = -0,5 - -0,8 \cdot h/d$	$h/d \leq 1$ : $c_{pe} = -0,3 - 0,2 \cdot h/d$
$h/d > 1$ : $c_{pe} = 0,8$	$h/d > 0,5$ : $c_{pe} = -0,9$	$1 < h/d \leq 5$ : $c_{pe} = -0,5 - 0,05 \cdot (h/d - 1)$

### COEFFICIENTE DINAMICO

Il coefficiente dinamico tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali.

In base a quanto detto qui sopra **nel caso di specie** si ha:

$$v_{b,0} = 28 \text{ m/s} \quad \text{per } a_s = 30 \text{ m} < a_0 = 1000 \text{ m}$$

$$c_a = 1.00$$

$$c_r = 1.04$$

$$v_r = v_b \cdot c_r = 29.12 \text{ m/s}$$

$$q_b = 526.7 \text{ N/m}^2$$

$c_e$  coefficiente di esposizione, funzione dell'altezza  $z$  del fabbricato, della rugosità e topografia del terreno e dell'esposizione del sito mediante la relazione

$$c_e(z) = k_r^2 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[ 7 + \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \quad \text{per } z > z_{\min}$$

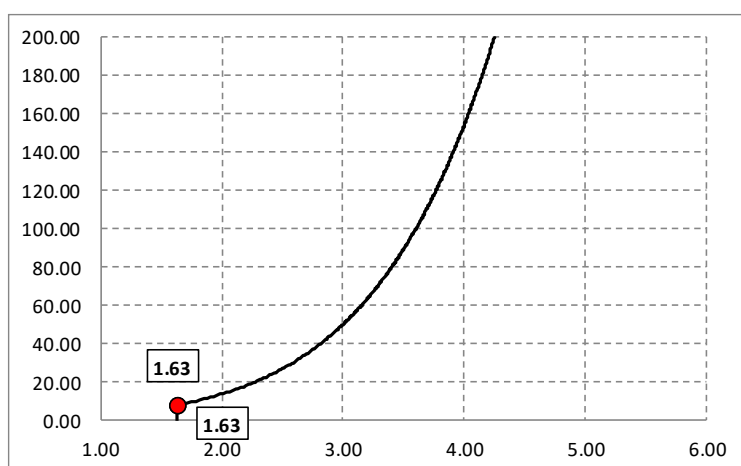
$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z \leq z_{\min}$$

essendo  $c_t$  il coefficiente di topografia posto pari ad 1.

Per l'edificio in oggetto si ha:

Zona di Vento: I  
 Classe di rugosità B  
 Categoria di esposizione IV  
 $k_r = 0.22$        $z_0 = 0.30$  m       $z_{min} = 8$  m

L'altezza massima dal suolo dell'edificio è pari a circa  $z = 4.14 < z_{min}$  per cui il coefficiente di esposizione  $c_e$  assume il valore costante pari a  $c_e = 1.63$ .



Tenendo conto della geometria in pianta dell'edificio per il coefficiente aerodinamico globale si ha:

**Configurazione rettangolare 1**

**Vento in direzione x**

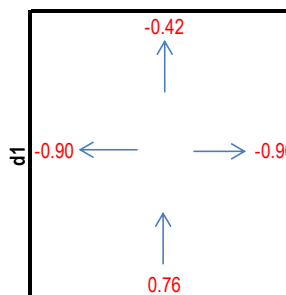
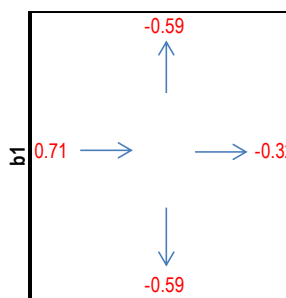
Dimensione della faccia perpendicolare al vento	$b_1$	=	6.84	m
Dimensione della faccia parallela al vento	$d_1$	=	38.07	m
Altezza del volume 1	$h_1$	=	4.14	m
Rapporto $h_1/d_1$	$h_1/d_1$	=	0.11	-

<b>Coefficiente di pressione per la faccia sopravvento</b>	$c_{pe,x,1}$	=	0.71	-
<b>Coefficiente di pressione per le facce laterali</b>	$c_{pe,y,1}$	=	-0.59	-
<b>Coefficiente di pressione per la faccia sottovento</b>	$c'_{pe,x,1}$	=	-0.32	-

**Vento in direzione y**

Dimensione della faccia perpendicolare al vento	$b_1$	=	38.07	m
Dimensione della faccia parallela al vento	$d_1$	=	6.84	m
Altezza del volume 1	$h_1$	=	4.14	m
Rapporto $h_1/d_1$	$h_1/d_1$	=	0.61	-

<b>Coefficiente di pressione per la faccia sopravvento</b>	$c_{pe,y,1}$	=	0.76	-
<b>Coefficiente di pressione per le facce laterali</b>	$c_{pe,x,1}$	=	-0.90	-
<b>Coefficiente di pressione per la faccia sottovento</b>	$c'_{pe,y,1}$	=	-0.42	-



Sviluppando la superficie perimetrale complessiva del piano terra ed applicando l'azione del vento nelle due direzioni orizzontali principali in pianta X e Y (assunte pari alle dimensioni di ingresso del sisma) si ha:



$$\text{Vento X} = [6.84 \times 4.14 \times 1.63 \times 526.7 \times (0.72+0.33)]/1000 = 25.5 \text{ kN}$$

$$\text{Vento Y} = [38.07 \times 4.14 \times 1.63 \times 526.7 \times (0.76+0.42)]/1000 = 159.7 \text{ kN}$$

I valori di forza orizzontale calcolati sopra risultano di molto inferiori ai valori di tagliante sismico alla base dell'edificio determinati dal programma di calcolo:

VARIAZIONI MASSE E RIGIDENZE DI PIANO															
				DIREZIONE X						DIREZIONE Y					
Piano N.ro	Quota (m)	Peso (t)	Variaz. (%)	Tagliante Comb.(t)	Tagliante modale(t)	Spost. (mm)	Klat. (t/m)	Variaz (%)	Teta	Tagliante Comb.(t)	Tagliante modale(t)	Spost. (mm)	Klat. (t/m)	Variaz (%)	Teta
1	4.14	241.86	0.0	81.19	81.19	1.92	42201	0.0	0.006	81.89	81.89	5.55	14755	0.0	0.011

$$\text{Tagliante X} = 811.9 \text{ kN}$$

$$\text{Tagliante Y} = 818.9 \text{ kN}$$

Ne consegue che l'azione del vento può essere omessa nel modello di calcolo globale ed utilizzata per la verifica dei soli elementi non strutturali (facciate).

### 6.3.3 Azioni variabili: neve

Le azioni della neve sono definite al capitolo 3.4 delle NTC2018. Il carico provocato dalla neve sulle coperture è definito dall'espressione seguente:

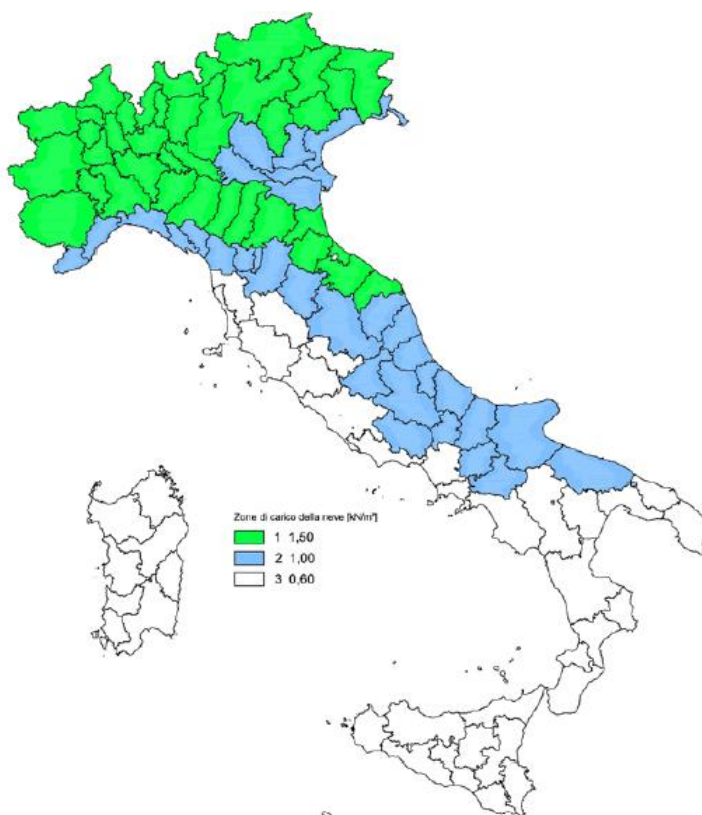
$$\text{Carico da neve sulla copertura} = q_s = \mu_i \text{ Ce Ct } q_{sk}$$

dove:

- $\mu_i$  - Coefficiente di forma della copertura;
- Ce - Coefficiente di esposizione;
- Ct - Coefficiente termico;
- $q_{sk}$  - Valore di riferimento del carico neve al suolo.

L'altitudine di riferimento  $a_s$  è la quota del suolo sul livello del mare nel sito di realizzazione dell'edificio. Il carico neve al suolo viene valutato, per provincia e per altitudini minori di 1500 m, in base alle espressioni nel seguito riportate, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni.

Nel caso in esame fa' riferimento ad un sito in Zona II a 30 m s.l.m.



**Valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo per un periodo di riferimento di 75 anni:**

$$q_{sk}(75) = 1,075 \text{ kN/m}^2$$

In relazione alla vita utile dell'edificio

Il valore sopra è suscettibile di correzioni secondo i coefficienti descritti nel seguito.

### Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione  $C_e$  può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono forniti in tabella 3.4.I. NTC2018.

**Tabella 3.4.I** – Valori di  $C_e$  per diverse classi di topografia

Topografia	Descrizione	$C_e$
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Per il caso in esame, si assume  $C_e = 1.0$ .

### Coefficiente termico

Il coefficiente termico  $C_t$  può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle

proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato  $C_t = 1.0$  (3.4.4 - NTC2018).

### Coefficiente di forma per le coperture

I valori del coefficiente di forma  $\mu$ , riportati in Tab. 3.4.I si riferiscono alle coperture ad una o due falde al variare dell'angolo  $\alpha$ .

Tabella C3.4.I - Coefficienti di forma per il carico neve

Angolo di inclinazione della falda $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	--

Nel caso di specie avendo una copertura piana ( $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ ) risulta:  $\mu_1 = 0.8$

### Carico da neve

Il carico neve sulla copertura assume pertanto il seguente valore:

$$q_s = \mu_i C_e C_t q_{sk} = 0.8 \cdot 1.00 \cdot 1.000 \cdot 1.075 = \underline{\underline{0.86 \text{ kN/m}^2}}$$

### 6.3.4 Azioni variabili: temperatura

Poiché l'azione della temperatura non costituisce azione fondamentale ai fini della sicurezza e dell'efficienza strutturale, la norma consente di tener conto della sola componente  $\Delta T_u$ .

Essendo la struttura del tipo in c.a. protetta si assume una variazione uniforme di temperatura sul manufatto pari a  $\Delta T = \pm 10^\circ$ .

### 6.3.5 Azione sismica

#### 6.3.5.1 Vita nominale e classe d'uso

La vita nominale delle strutture oggetto della presente nota di calcolo, intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata, è assunto pari a:

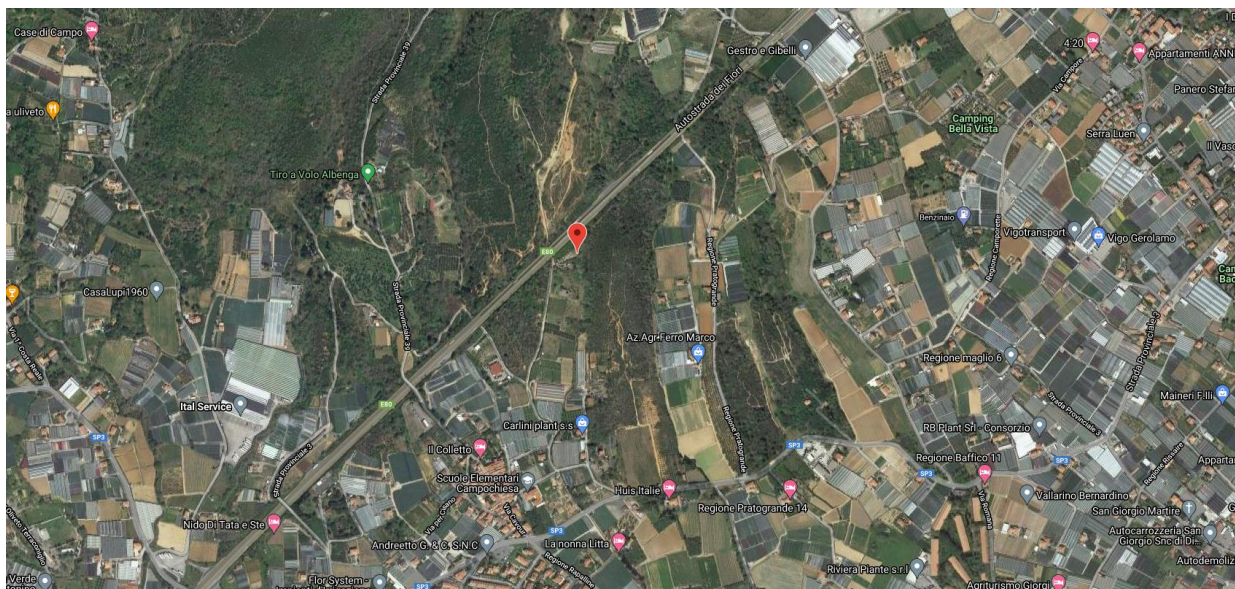
$$V_N = 75$$

La classe d'uso della costruzione è invece assunta pari a:

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente.

### 6.3.5.2 Individuazione della zona sismica

Il sito dove sorgerà la costruzione si trova alle coordinate 44°.0817522 N – 8°.1978031 E



**Figura 4**

### 6.3.5.3 Classificazione della tipologia di suolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto la Normativa tecnica definisce diverse categorie di profilo stratigrafico di suolo di fondazione. Le indagini conoscitive sul terreno, definiscono l'appartenenza del suolo alla **categoria di tipo C** (depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argilla di media consistenza con spessori di diverse decine di metri). Data l'orografia dell'area vasta è possibile assumere un coefficiente di condizione **topografia T1**: superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i < 15^\circ$ .

### 6.3.5.4 Spettri di risposta elastici

Lo spettro di risposta elastico  $S_e(T)$  è caratterizzato dalle seguenti espressioni:

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

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

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

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

Con

**S** coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione:

$$S = S_S \cdot S_T$$

essendo  $S_S$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica di cui alla tabella seguente ed  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica;

Categoria di sottosuolo	$S_S$	$C_C$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_C)^{-0,33}$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera	$S_T$
T <sub>1</sub>	-	1,0

$\eta$  fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$$

nella fattispecie  $\xi = 5\%$ .

$F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2

$T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$$T_C = C_C T^*_C$$

dove  $T^*_C$  è funzione del sito dove sorgerà l'opera e  $C_C$  è determinato dalla tabella precedente

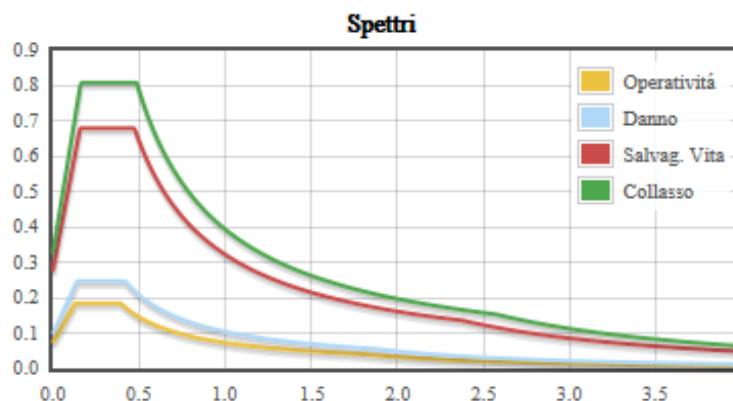
$T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante:

$$T_B = T_C / 3$$

$T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro:

$$T_D = 4,0 \frac{a_g}{g} + 1,6$$

Note le coordinate geografiche del sito ed assunta la condizione topografica, i diagrammi degli spettri elastici per il sito risultano i seguenti.



**Parametri di Pericolosità Sismica**

<i>Stato Limite</i>	$T_r$	$a_g=A_g/g$	$F_o$	$T^*_c$
<i>Operatività (SLO)</i>	90	0.048	2.561	0.233
<i>Danno (SLD)</i>	151	0.065	2.536	0.256
<i>Salvag. Vita (SLV)</i>	1424	0.195	2.472	0.306
<i>Collasso (SLC)</i>	2924	0.243	2.491	0.318

**6.3.5.5 Classe di duttilità e coefficiente di comportamento**

Le strutture vengono verificate mediante una analisi dinamica classica con spettro di risposta scalato per il fattore di struttura  $q$ . Le strutture vengono progettate come **STRUTTURE DISSIPATIVE**.

Il coefficiente di comportamento o fattore di struttura “ $q$ ” viene valutato per ogni direzione di ingresso del sisma mediante la seguente formula:

$$q = q_o k_R$$

Dove

$q_o$  è il valore base del coefficiente di comportamento legato alla classe di duttilità, alla tipologia strutturale ed alla regolarità.

L’edificio può dirsi **regolare in pianta** e **regolare in altezza**.

Viene eseguita la verifica prevista al par. 7.4.3.1 delle NTC2018 per edifici composti da telai e/o pareti per cui deve essere:

$$r_s/I_s > 1,00 \quad \text{ad ogni livello}$$

essendo:

$r_s^2$  il rapporto tra la rigidezza torsionale e flessionale di piano

$$I_s^2 = (L^2 + B^2)/12 \quad (L \text{ e } B \text{ dimensioni in pianta del piano})$$

il programma di calcolo esegue tale verifica in automatico:

BARICENTRI MASSE E RIGIDEZZE														
IDENTIFICATORE		BARICENTRI MASSE E RIGIDEZZE							RIGIDEZZE FLESSIONALI E TORSIONALI					
PIANO N.ro	QUOTA (m)	PESO (t)	XG (m)	YG (m)	XR (m)	YR (m)	DX (m)	DY (m)	Lpianta (m)	Bpianta (m)	Rig.FleX (t/m)	Rig.FleY (t/m)	RigTors. (t <sup>2</sup> /m)	(r/I <sub>s</sub> ) <sup>2</sup>
1	4.14	241.86	18.84	3.22	18.86	3.22	0.02	0.00	6.44	37.67	42201	14755	4435256	0.70

Essendo

- PIANO** : Numero del piano sismico  
**QUOTA** : Altezza del piano dallo spiccato di fondazione  
**PESO** : Peso sismico di piano (peso proprio, carichi permanenti e aliquota dei sovraccarichi variabili)  
**XG** : Ascissa del baricentro delle masse rispetto all’origine del sistema di riferimento globale

<b>YG</b>	: Ordinata del baricentro delle masse rispetto all'origine del sistema di riferimento globale
<b>XR</b>	: Ascissa del baricentro delle rigidzze rispetto all'origine del sistema di riferimento globale
<b>YR</b>	: Ordinata del baricentro delle rigidzze rispetto all'origine del sistema di riferimento globale
<b>DX</b>	: Scostamento in ascissa del baricentro delle rigidzze rispetto a quello delle masse (XR – XG)
<b>DY</b>	: Scostamento in ordinata del baricentro delle rigidzze rispetto a quello delle masse (YR – YG)
<b>Lpianta</b>	: Dimensione in pianta del piano nella direzione ortogonale al primo sisma
<b>Bpianta</b>	: Dimensione in pianta del piano nella direzione ortogonale al secondo sisma
<b>RigFlex</b>	: Rigidezza flessionale di piano nella direzione primo sisma. E' calcolata come rapporto fra la forza unitaria applicata sul baricentro delle masse del piano in direzione del primo sisma e la differenza di spostamento, sempre nella direzione del sisma, fra il piano in questione e quello sottostante.
<b>RigFleY</b>	: Rigidezza flessionale di piano nella direzione secondo sisma
<b>RigTors</b>	: Rigidezza torsionale di piano
<b>r/ls</b>	: Rapporto di piano per determinare se una struttura è deformabile torsionalmente (vedi DM 2018/2018 7.4.3.1)

Dalla verifica l'edificio RISULTA DEFORMABILE TORSIONALMENTE.

Per **strutture deformabili torsionalmente** in classe "CD B":

$$q_0 = 2.0$$

Si assume quindi

$$q = 2.00$$

**in entrambe le direzioni.**

### 6.3.6 Spettro di progetto per lo SLU

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare è lo spettro elastico di cui al par. 6.3.5.4 con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule  $\eta$  con  $1/q$  dove  $q$  è il fattore di struttura definito nel paragrafo precedente:

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

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right); \quad S_d(T) \geq \beta \cdot a_g$$

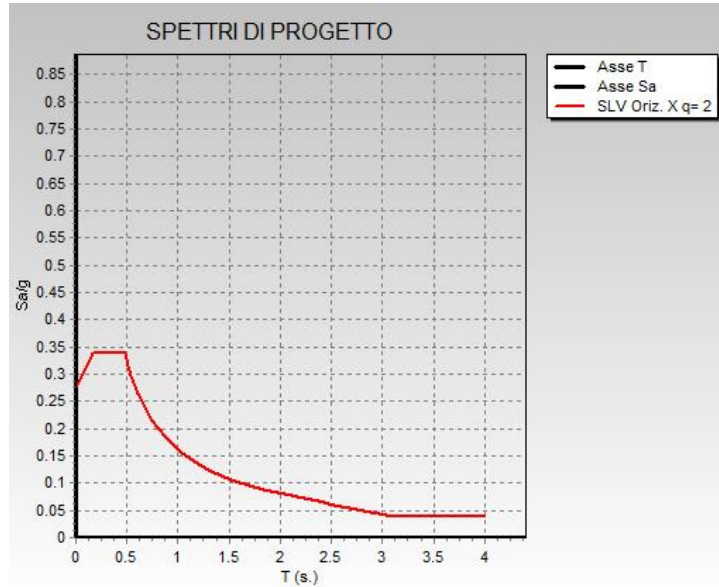
$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right); \quad S_d(T) \geq \beta \cdot a_g$$

dove

$q$  è il coefficiente di comportamento  $q = 2.00$  in direzione X e in direzione Y.

$\beta$  è il valore limite inferiore del coefficiente per lo spettro orizzontale di progetto  $\beta = 0,2$

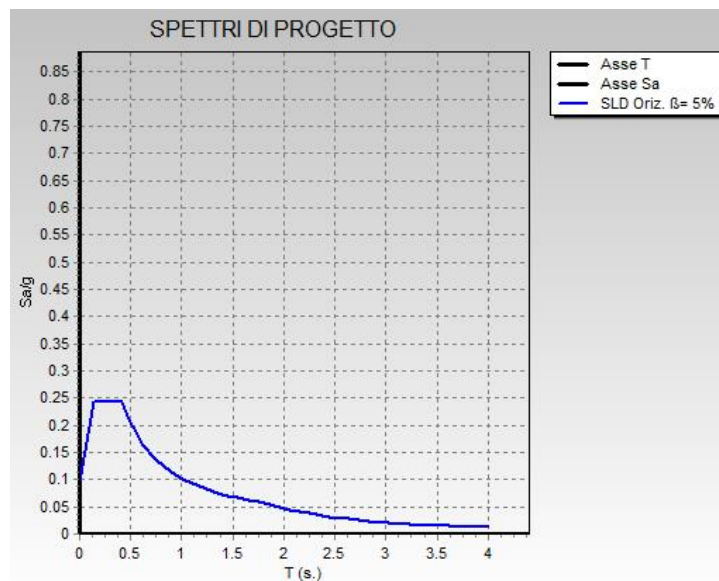
Il diagramma dello spettro di progetto risultante è riportato nella figura seguente:



**Figura 5: spettro SLV**

### 6.3.7 Spettro di progetto per lo Stato limite di Danno

Essendo la struttura in classe d'uso IV lo stato limite di danno si verifica in resistenza determinando le sollecitazioni sotto l'azione di un terremoto con periodo di ritorno più basso rispetto a quello distruttivo. Il diagramma dello spettro di progetto orizzontale e verticale risultante è riportato nella figura seguente:



**Figura 6: spettro SLD**

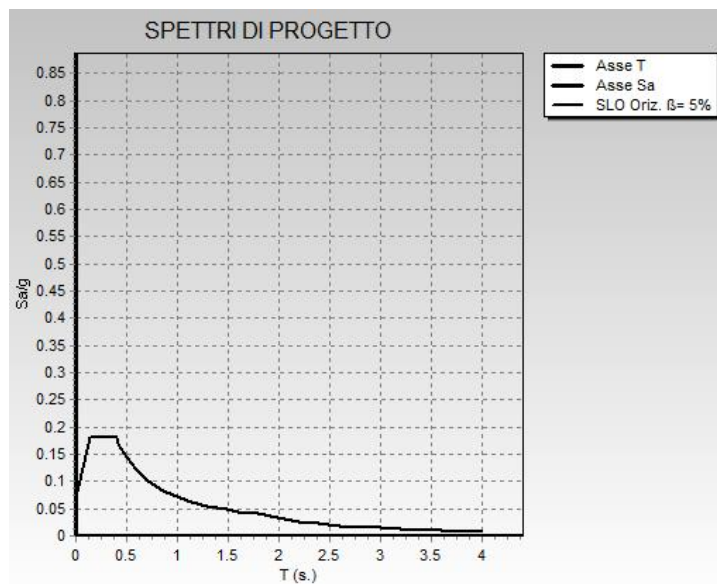
### 6.3.8 Spettro di progetto per lo Stato limite di Operatività

Poiché la struttura è di classe d'uso IV è necessario eseguire verifiche allo SLO.



Lo stato limite di operatività si verifica imponendo che lo spostamento strutturale di interpiano sia contenuto entro limiti prestabiliti sotto l'azione di un terremoto con periodo di ritorno più basso rispetto a quello distruttivo in modo da non subire danni o interruzioni di servizio. Data la natura dei tamponamenti si assume che tale spostamento di interpiano debba essere inferiore allo 0,33% calcolato facendo riferimento allo spettro di risposta allo SLD (variando quindi i parametri  $a_g$ ,  $T_r$ ,  $F_0$ ,  $T^*C$ ).

Il diagramma dello spettro di progetto risultante è riportato nella figura seguente:



**Figura 7: spettro SLO**

## 7 COMBINAZIONI DI CALCOLO

Il progetto e la verifica di tutti gli elementi strutturali verrà eseguito mediante il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite. Per quanto concerne le verifiche agli stati limite ultimi (SLU), le condizioni elementari di carico vengono tra loro combinate in modo da determinare le sollecitazioni più sfavorevoli.

Le combinazioni di carico che verranno considerate nel calcolo delle sollecitazioni rispettano le prescrizioni fornite dalle NTC 2018,

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (2.5.3 – NTC2018).

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

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

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

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

Combinazione caratteristica (frequente), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (quasi permanente), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine (SLE):

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

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

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

Dove:

- a) Azioni Permanenti (G);
- b) Azioni Variabili (Q);
- c) Azioni di Precompressione (P);
- d) Azioni Eccezionali (A);
- e) Azioni Sismiche (E);

I valori dei coefficienti che tengono conto della non contemporaneità dei massimi valori delle azioni sono dati dalla Tab. 2.5.I:

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0i}$	$\Psi_{1i}$	$\Psi_{2i}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qi}$  sono dati in § 2.6.1, Tab. 2.6.I:

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup>Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

## 7.1 Combinazioni geotecniche

Relativamente alle combinazioni per le verifiche geotecniche si fa riferimento al punto 6.2.3.1.1 delle NTC 2018 che riportano la seguente tabella:

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

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

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Per le opere di fondazione superficiali devono essere effettuate le verifiche almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
- collasso per scorrimento sul piano di posa
- stabilità globale

SLU di tipo strutturale (STR)

- Raggiungimento della resistenza ultima negli elementi strutturali

Le verifiche geotecniche devono essere eseguite seguendo uno dei 2 approcci elencati nel seguito, utilizzando i coefficienti parziali riportati nella tabella sotto:

Approccio 1:

- Combinazione 1 (A1+M1+R1)
- Combinazione 2 (A2+M2+R2)

Approccio 2:

- Combinazione 1 (A1+M1+R3)

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto nel § 6.8, secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto.

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Vengono riportate nel seguito le tabelle che mostrano tutte le combinazioni di carico per i vari stati limite considerati, con le quali è stata eseguita l'analisi delle sollecitazioni.

## 7.2 Elenco combinazioni di carico

Il sottoscritto progettista ha verificato che le combinazioni prese in considerazione per il calcolo sono sufficienti a garantire il soddisfacimento delle prestazioni per gli stati limite ultimi.

Le combinazioni considerate ai fini del progetto tengono infatti in conto le azioni derivanti dai pesi propri, dai carichi permanenti, dalle azioni variabili e dalle azioni sismiche combinate utilizzando i coefficienti parziali previsti dal DM2018 per le prestazioni di SLU.

COMBINAZIONI CARICHI A1 - S.L.V. / S.L.D.															
DESCRIZIONI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peso Strutturale	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Perm.Non Strutturale	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Var.Neve h<=1000	0.75	1.50	0.75	1.50	0.75	0.75	1.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Var.Coperture	1.50	0.00	1.50	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Corr. Tors. dir. 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00
Corr. Tors. dir. 90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	0.30
Carico termico	0.00	0.00	0.90	0.90	1.50	-0.90	-0.90	-1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma direz. grd 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Sisma direz. grd 90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	0.30	0.30	-0.30	-0.30	-0.30

COMBINAZIONI CARICHI A1 - S.L.V. / S.L.D.															
DESCRIZIONI	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Peso Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Perm.Non Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Var.Neve h<=1000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Var.Coperture	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Corr. Tors. dir. 0	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30	0.30	-0.30
Corr. Tors. dir. 90	0.30	0.30	0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	0.30	0.30	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
Carico termico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma direz. grd 0	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Sisma direz. grd 90	-0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00

COMBINAZIONI CARICHI A1 - S.L.V. / S.L.D.										
DESCRIZIONI	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Peso Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Perm.Non Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Var.Neve h<=1000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Var.Coperture	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Corr. Tors. dir. 0	0.30	-0.30	-0.30	0.30	-0.30	0.30	-0.30	0.30	-0.30	0.30
Corr. Tors. dir. 90	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00
Carico termico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma direz. grd 0	0.30	0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30
Sisma direz. grd 90	-1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00

COMBINAZIONI RARE - S.L.E.								
DESCRIZIONI	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Perm.Non Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Var.Neve h<=1000	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50
Var.Coperture	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Corr. Tors. dir. 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Corr. Tors. dir. 90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carico termico	0.00	0.00	0.60	0.60	1.00	-0.60	-0.60	-1.00
Sisma direz. grd 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma direz. grd 90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

COMBINAZIONI FREQUENTI - S.L.E.				
DESCRIZIONI	1	2	3	4
Peso Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00

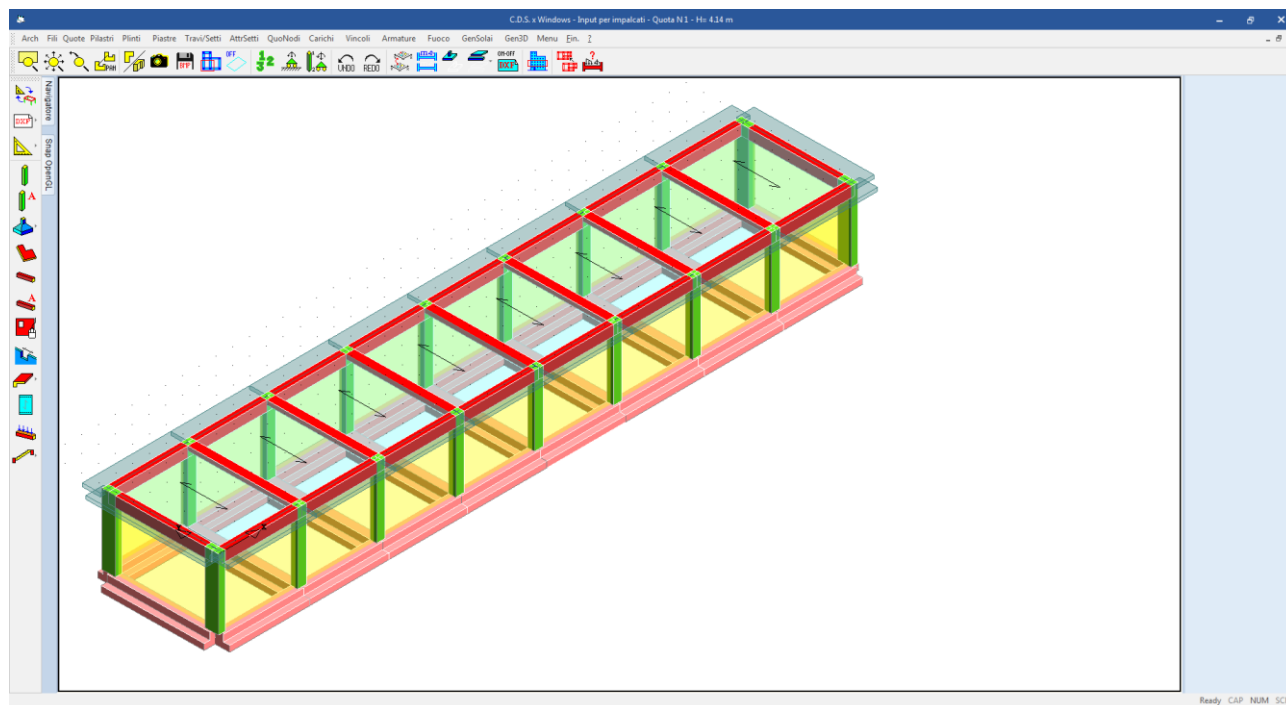
 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo</b>	COMMESSA <b>IV01</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 26 CL</b>	DOCUMENTO <b>FA0202 001</b>	REV. <b>A</b>

COMBINAZIONI FREQUENTI - S.L.E.				
DESCRIZIONI	1	2	3	4
Perm.Non Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00
Var.Neve h<=1000	0.00	0.20	0.00	0.00
Var.Coperture	0.00	0.00	0.00	0.00
Corr. Tors. dir. 0	0.00	0.00	0.00	0.00
Corr. Tors. dir. 90	0.00	0.00	0.00	0.00
Carico termico	0.00	0.00	0.50	-0.50
Sisma direz. grd 0	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma direz. grd 90	0.00	0.00	0.00	0.00

COMBINAZIONI PERMANENTI - S.L.E.	
DESCRIZIONI	1
Peso Strutturale	1.00
Perm.Non Strutturale	1.00
Var.Neve h<=1000	0.00
Var.Coperture	0.00
Corr. Tors. dir. 0	0.00
Corr. Tors. dir. 90	0.00
Carico termico	0.00
Sisma direz. grd 0	0.00
Sisma direz. grd 90	0.00

## 8 MODELLO DI CALCOLO ED ANALISI STRUTTURALE

L'analisi strutturale è condotta mediante il programma agli elementi finiti CDS Win 2021. I pilastri, le travi in elevazione sono modellate mediante elementi beam, che uniscono due nodi aventi ciascuno 6 gradi di libertà. Per maggiore precisione di calcolo, viene tenuta in conto anche la deformabilità a taglio e quella assiale di questi elementi. Queste aste inoltre non sono considerate flessibili da nodo a nodo ma hanno sulla parte iniziale e finale due tratti infinitamente rigidi formati dalla parte di trave inglobata nello spessore del pilastro; questi tratti rigidi forniscono al nodo una dimensione reale.



**Figura 8: modello strutturale**

L'interazione tra terreno di fondazione e struttura è modellata mediante delle travi su suolo elastico (travi alla Winkler). La costante di sottofondo  $K$  adottata nel calcolo, è supposta costante con la profondità, e valutata secondo la relazione di Bowles:

$$K_s = E / [ B \times (1 - \mu^2) ]$$

Con:

$$E = 10000 \text{ KN/m}^2$$

$$B = 1,4 \text{ m}$$

$$\mu = 0,3$$

Si ha:

$$K_s = E / [ B \times (1 - \mu^2) ] = 10000 / [ 1,4 \times (1 - 0,3^2) ] = 7849 \text{ KN/m}^3$$

modulo terreno

larghezza trave (1,20)+magrone(0,2)

Coefficiente di Poisson del suolo

La torsione indotta negli elementi strutturali dalla configurazione spaziale del modello di calcolo viene tenuta in conto solo quando il momento torcente indotto dai carichi supera il 10% del momento torcente ultimo della sezione, attribuendo all'elemento strutturale una rigidezza a torsione pari al 10% rispetto alla rigidezza complessiva dell'elemento pensato tutto reagente. In questo modo si tiene in considerazione la limitata rigidezza che assume un'asta in c.a. fessurata perché sottoposta a torsione e si affida la resistenza della struttura ad un meccanismo di tipo flessionale rispetto al quale il comportamento del c.a. risulta decisamente più affidabile.

Per le aste è stata considerata una percentuale ridotta di rigidezza flessionale delle aste. Ciò permette di tenere in conto del fatto che, a causa della fessurazione del calcestruzzo, la rigidezza flessionale delle aste, ai fini della risoluzione in fase elastica della struttura tridimensionale, può essere ridotta. Il valore assegnato è il 70%.

L'analisi sismica dinamica è stata svolta con il metodo dell'analisi modale con masse concentrate nei nodi del modello strutturale; la ricerca dei modi e delle relative frequenze è stata perseguita con il metodo di Cholesky.

I modi di vibrare considerati sono in numero tale da assicurare l'eccitazione di più dell' 85% della massa totale della struttura.

I valori delle sollecitazioni sismiche sono combinati linearmente (in somma e in differenza) con quelle per carichi statici per ottenere le sollecitazioni per sisma nelle due direzioni di calcolo.

Le caratteristiche di sollecitazione massime su ogni elemento si ottengono inviluppando tutte le condizioni di carico prese in considerazione.

### **8.1.1 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo**

Per l'analisi delle strutture è stato utilizzato il software **CDSWIN** © versione **2021** della **STS Software Tecnico Scientifico**, numero di licenza **32896**, distribuito da **Kipendoff Engineering** via Pietro Sommariva, 50 - 00195 Roma.

La documentazione fornita dal produttore e dal distributore del software circa l'affidabilità, la validazione ed i casi di prova interamente risolti e commentati con files di input che consentano la riproduzione dell'elaborazione sono disponibili al sito [www.stsweb.it](http://www.stsweb.it).

Come previsto al punto 10.2 delle norme tecniche di cui al D.M. 17.01.2018 l'affidabilità del codice utilizzato è stata verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La S.T.S. s.r.l. a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti fornisce direttamente on-line i test sui casi prova (<http://www.stsweb.it/STSWeb/ITA/homepage.htm>)

Il software è inoltre dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio.

I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

In particolare il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- Filtri per la congruenza geometrica del modello di calcolo generato
- Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate.

- Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su eventuali mal condizionamenti delle matrici, verifica dell'indice di condizionamento.
- Controlli sulla verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.
- Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.

### 8.1.2 Affidabilità del codice di calcolo

Per quanto riguarda il software utilizzato per l'analisi strutturale, un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software **CDSWin** ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

## 8.2 Criteri di modellazione delle masse strutturali

Nella fase di analisi dinamica le masse strutturali sono state considerate ripartite lungo gli elementi. Nella valutazione delle masse si è tenuta in conto della presenza di carichi variabili. La normativa consente di considerare solamente una aliquota dei carichi variabili massimi per tener conto della scarsa probabilità che si verifichino contemporaneamente l'evento sismico e i massimi valori dei carichi variabili su tutta la struttura. Tali aliquote sono differenti in relazione alla destinazione d'uso dei singoli ambienti all'interno della struttura. Gli effetti inerziali dell'azione sismica di progetto sono valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali che compaiono nella seguente combinazione di azioni:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

dove

$\psi_{2j}$  E' il coefficiente di combinazione dell'azione variabile  $Q_{kj}$  che tiene conto della probabilità che tutti i carichi  $Q_{kj}$  non agiscano contemporaneamente sull'intera struttura in occasione del sisma, i valori assunti da tale coefficiente in relazione alle categorie di carico sono riportate nella tabella 2.5.I della [3] in funzione dell'analisi dei carichi di cui ai paragrafi che precedono

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6

Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

### 8.3 Calcolo delle azioni interne e degli spostamenti

#### 8.3.1 Analisi dinamica modale con spettro di risposta di progetto

L'analisi dinamica modale associata allo spettro di risposta di progetto, che costituisce il metodo normale per la definizione delle sollecitazioni di progetto e degli spostamenti, viene applicata al modello tridimensionale della struttura. In questo tipo di analisi viene tenuta in conto la risposta di tutti i modi di vibrare della struttura che contribuiscano in modo significativo alla risposta globale, soddisfacendo una delle seguenti condizioni:

- la somma delle masse modali effettive per i modi considerati rappresenta almeno il 85% della massa totale della struttura;
- sono presi in considerazione tutti i modi caratterizzati da una massa modale effettiva maggiore del 5% della massa totale.

Avendo utilizzato un modello spaziale, le condizioni risultano verificate per ogni direzione principale.

#### 8.3.2 Combinazione delle riposte modali

Ottenuta la massima risposta dei modi di vibrare occorre combinare i massimi modali poiché tali massimi non si verificano nello stesso istante.

La tecnica adottata è quella della "combinazione quadratica completa" (CQC):

$$E = \left( \sum_i \sum_j \rho_{i,j} E_i E_j \right)^{\frac{1}{2}}$$

Dove:

- E è il valore totale della componente di risposta sismica che si sta considerando;  
 E<sub>i</sub> è il valore della medesima componente dovuta al modo i;  
 E<sub>j</sub> è il valore della medesima componente dovuta al modo j;  
 ρ<sub>i,j</sub> è il coefficiente di correlazione tra il modo i e il modo j.

$$\rho_{i,j} = \frac{8\xi^2 \cdot (1 + \beta_{i,j}) \cdot \beta_{i,j}^{3/2}}{(1 - \beta_{i,j}^2) + 4\xi^2 \cdot \beta_{i,j} \cdot (1 - \beta_{i,j}^2)}$$

Con:

- ξ coefficiente di smorzamento equivalente;  
 β<sub>i,j</sub> = ω<sub>i</sub>/ω<sub>j</sub> rapporto fra le frequenze di ciascuna coppia di modi i e j.



### 8.3.3 Combinazione degli effetti delle componenti dell'azione sismica

La risposta alle diverse componenti dell'azione sismica ed alla variabilità spaziale del moto della struttura, viene calcolata separatamente per ciascuna delle due direzioni principali in pianta. Gli effetti sulla struttura di tali azioni sono stati valutati mediante le seguenti combinazioni:

$$E_{Edx} + 0,30 E_{Edy}$$

$$0,30 E_{Edx} + E_{Edy}$$

Dove:

“+” significa "deve essere combinato con";

$E_{Edx}$  rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale x della struttura;

$E_{Edy}$  rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione della medesima azione sismica lungo l'asse orizzontale ortogonale y della struttura.

## 9 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

### 9.1 Risultati dell'analisi modale

L'analisi modale viene effettuata automaticamente dal programma di calcolo che fornisce i valori dei periodi propri  $T_i$  e le deformate modali. Nella tabella seguente sono riportati i valori dei periodi propri per i vari tipi di spettri di progetto per i primi modi di vibrare.

PULSAZIONI E MODI DI VIBRAZIONE													
Modo N.ro	Pulsazione (rad/sec)	Periodo (sec)	Smorz Mod(%)	Sd/g SLO	Sd/g SLD	Sd/g SLV X	Sd/g SLV Y	Sd/g SLC X	Sd/g SLC Y	Piano N.ro	X (m)	Y (m)	Rot (rad)
1	24.463	0.25684	5.0	0.181	0.244	0.339	0.339			1	-0.00032	0.064491	-0.00010
2	34.599	0.18160	5.0	0.181	0.244	0.339	0.339			1	0.016890	-0.098684	0.005245
3	41.372	0.15187	5.0	0.181	0.244	0.336	0.336			1	0.064301	0.000000	0.000000

FATTORI E FORZE DI PIANO MODALI S.L.O.									
SISMA DIREZIONE: 0°									
		Massa eccitata (t): 241.86			Massa totale (t): 241.86			Rapporto:1	
Modo N.ro	Fattore Modale	Fmod/Fmax (%)	Massa Mod Eff. (t)	Mmod/Mtot %	Piano N.ro	FX (t)	FY (t)	Mt (t*m)	Mom.Ecc. 5% (t*m)
1	0.000	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	13.95
2	0.000	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	
3	15.552	100.00	241.86	100.00	1	43.68	0.00	0.00	

FATTORI E FORZE DI PIANO MODALI S.L.D.									
SISMA DIREZIONE: 0°									
		Massa eccitata (t): 241.86			Massa totale (t): 241.86			Rapporto:1	
Modo N.ro	Fattore Modale	Fmod/Fmax (%)	Massa Mod Eff. (t)	Mmod/Mtot %	Piano N.ro	FX (t)	FY (t)	Mt (t*m)	Mom.Ecc. 5% (t*m)
1	0.000	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	18.97
2	0.000	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	
3	15.552	100.00	241.86	100.00	1	58.91	0.00	0.00	

FATTORI E FORZE DI PIANO MODALI S.L.V.									
SISMA DIREZIONE: 0°									
		Massa eccitata (t): 241.86			Massa totale (t): 241.86			Rapporto:1	
Modo N.ro	Fattore Modale	Fmod/Fmax (%)	Massa Mod Eff. (t)	Mmod/Mtot %	Piano N.ro	FX (t)	FY (t)	Mt (t*m)	Mom.Ecc. 5% (t*m)
1	0.000	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	26.15
2	0.000	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	
3	15.552	100.00	241.86	100.00	1	81.22	0.00	0.00	

FATTORI E FORZE DI PIANO MODALI S.L.O.									
SISMA DIREZIONE: 90°									
		Massa eccitata (t): 241.86			Massa totale (t): 241.86			Rapporto:1	
Modo N.ro	Fattore Modale	Fmod/Fmax (%)	Massa Mod Eff. (t)	Mmod/Mtot %	Piano N.ro	FX (t)	FY (t)	Mt (t*m)	Mom.Ecc. 5% (t*m)
1	0.000	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	
2	0.000	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	
3	15.552	100.00	241.86	100.00	1	81.22	0.00	0.00	

**FATTORI E FORZE DI PIANO MODALI S.L.O.**

SISMA DIREZIONE : 90°									
Massa eccitata (t): 241.86    Massa totale (t): 241.86    Rapporto:1									
Modo N.ro	Fattore Modale	Fmod/Fmax (%)	Massa Mod Eff. (t)	Mmod/Mtot %	Piano N.ro	FX (t)	FY (t)	Mt (t*m)	Mom.Ecc. 5% (t*m)
1	15.552	100.00	241.86	100.00	1	0.00	43.68	-2.01	82.27
2	0.029	0.18	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.99	
3	0.000	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	

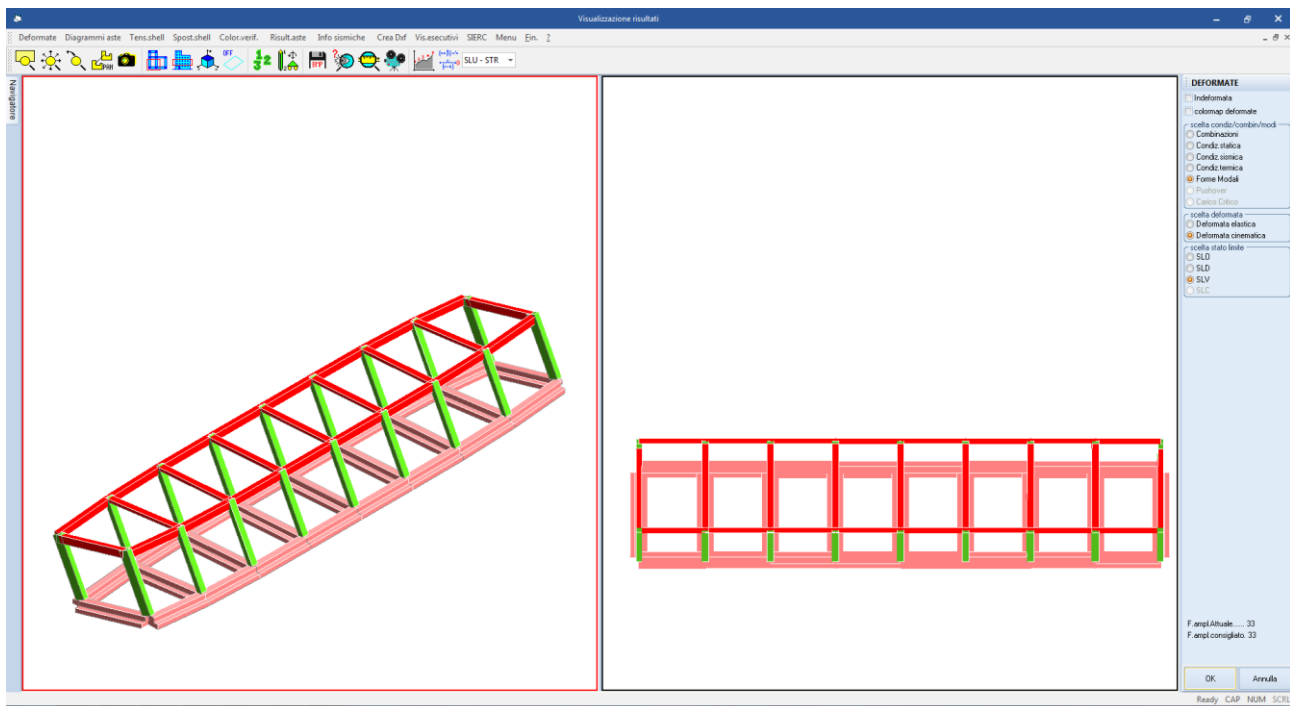
**FATTORI E FORZE DI PIANO MODALI S.L.D.**

SISMA DIREZIONE : 90°									
Massa eccitata (t): 241.86    Massa totale (t): 241.86    Rapporto:1									
Modo N.ro	Fattore Modale	Fmod/Fmax (%)	Massa Mod Eff. (t)	Mmod/Mtot %	Piano N.ro	FX (t)	FY (t)	Mt (t*m)	Mom.Ecc. 5% (t*m)
1	15.552	100.00	241.86	100.00	1	0.00	58.91	-2.71	110.95
2	0.029	0.18	0.00	0.00	1	0.00	0.00	1.33	
3	0.000	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	

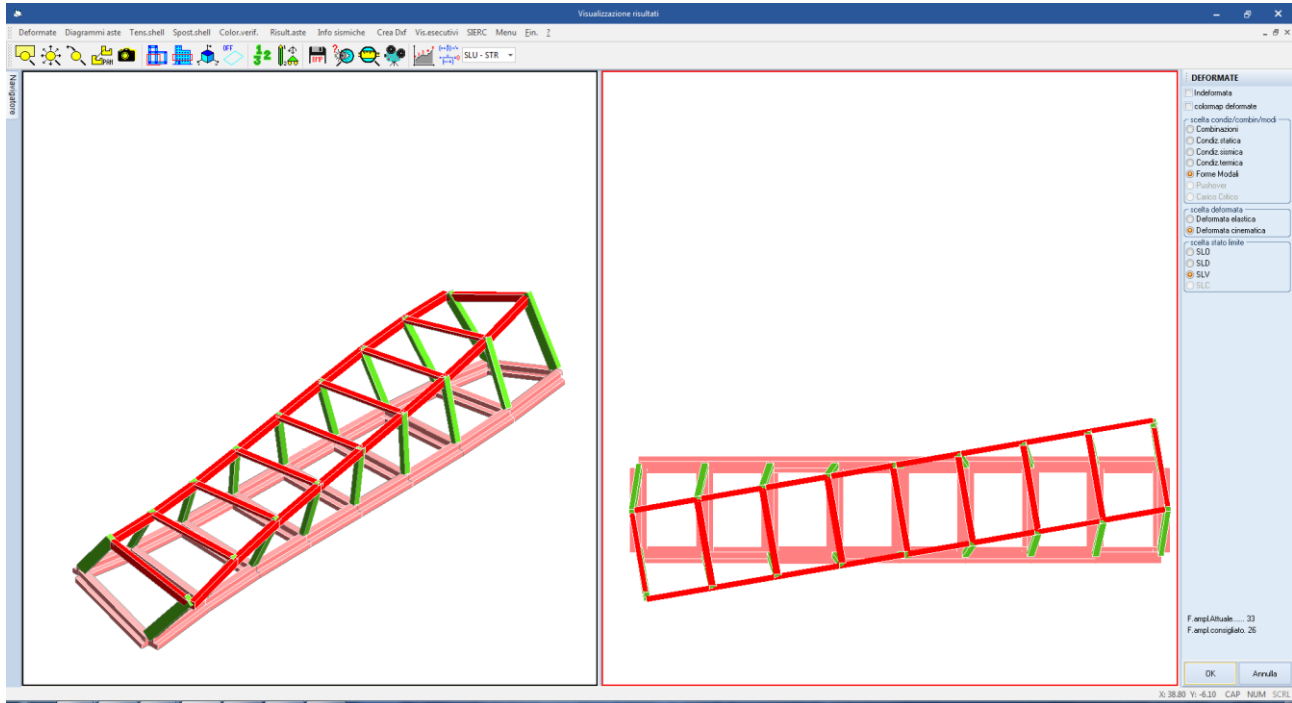
**FATTORI E FORZE DI PIANO MODALI S.L.V.**

SISMA DIREZIONE : 90°									
Massa eccitata (t): 241.86    Massa totale (t): 241.86    Rapporto:1									
Modo N.ro	Fattore Modale	Fmod/Fmax (%)	Massa Mod Eff. (t)	Mmod/Mtot %	Piano N.ro	FX (t)	FY (t)	Mt (t*m)	Mom.Ecc. 5% (t*m)
1	15.552	100.00	241.86	100.00	1	0.00	81.89	-3.77	154.24
2	0.029	0.18	0.00	0.00	1	0.00	0.00	1.85	
3	0.000	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	

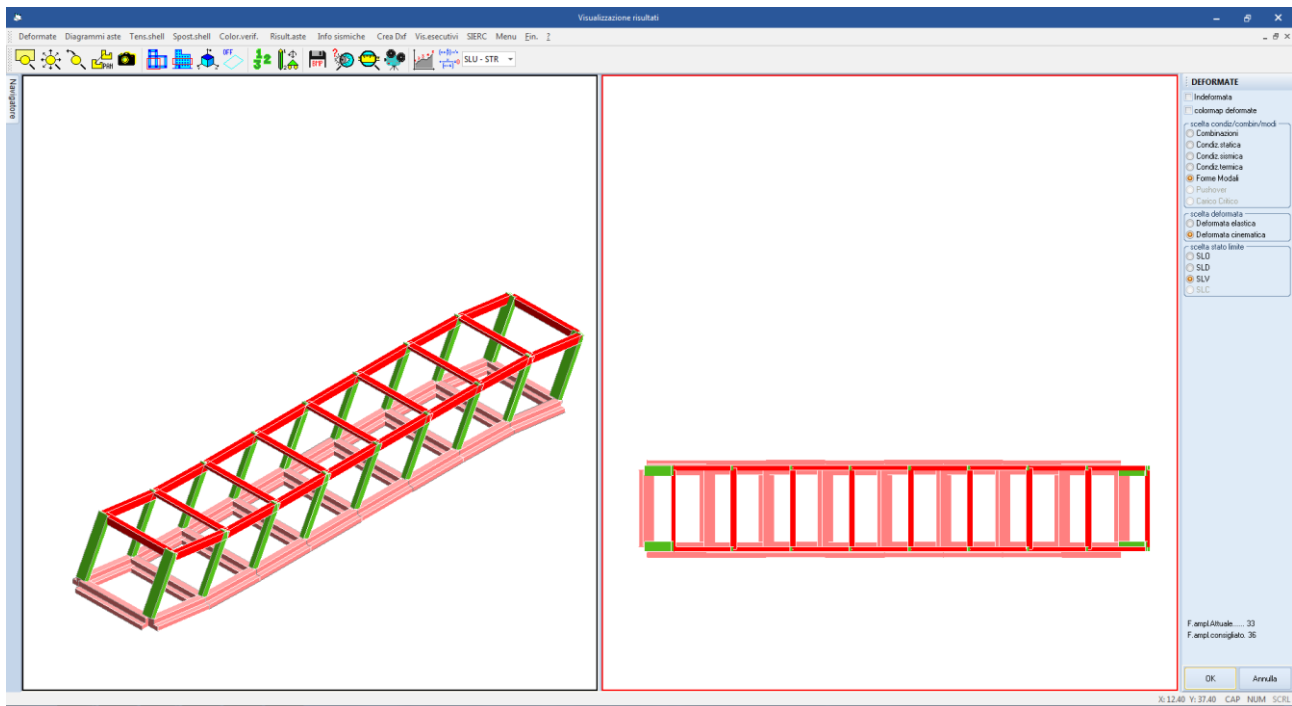
Nelle figure seguenti sono illustrate le forme modali dei primi 3 modi di vibrare.



**Figura 9: primo modo di vibrare**

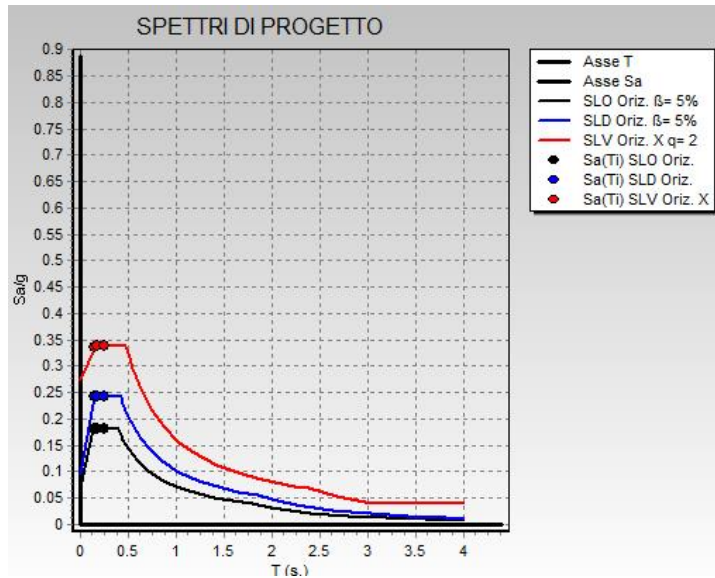


**Figura 10: secondo modo di vibrare**



**Figura 11: terzo modo di vibrare**

Nelle figure seguenti sono individuate le frequenze dei modi di vibrare rispetto agli spettri di progetto.



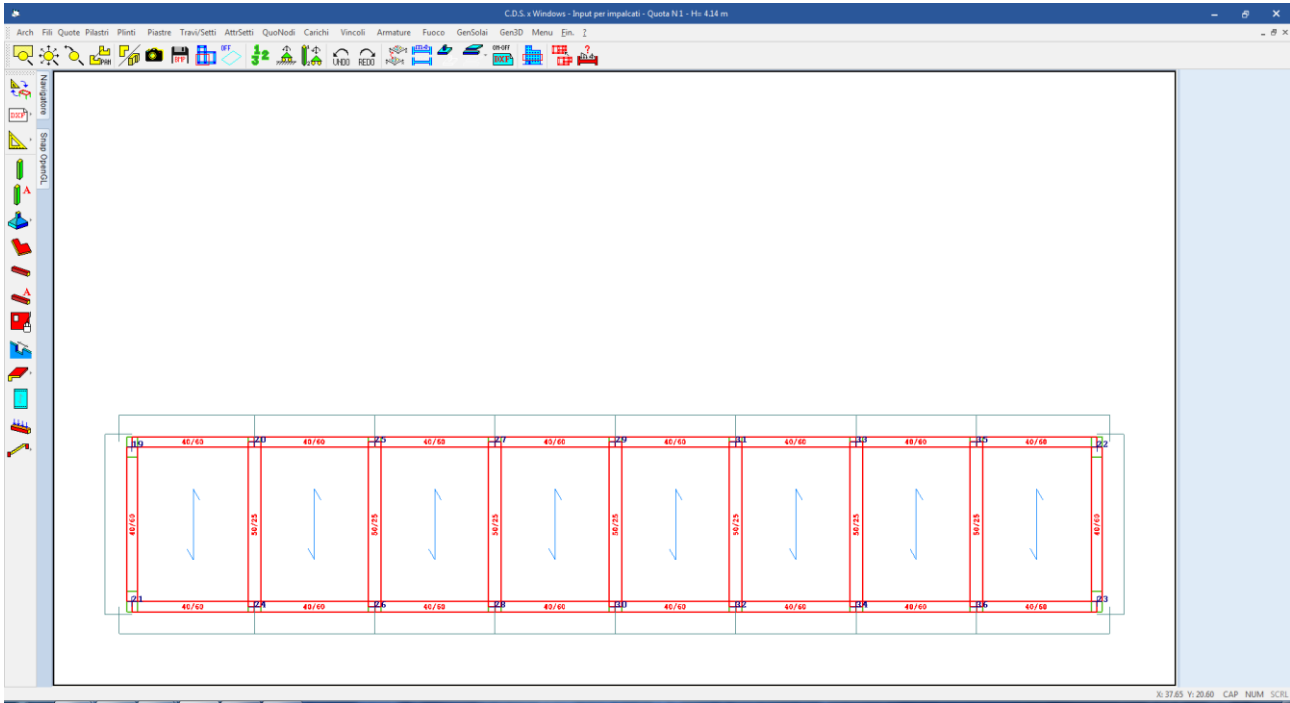
**Figura 12: frequenze proprie della struttura sugli spettri di progetto SLV, SLD, SLO**

Il periodo proprio della struttura risulta essere  $T_1 = 0.2568$  sec.

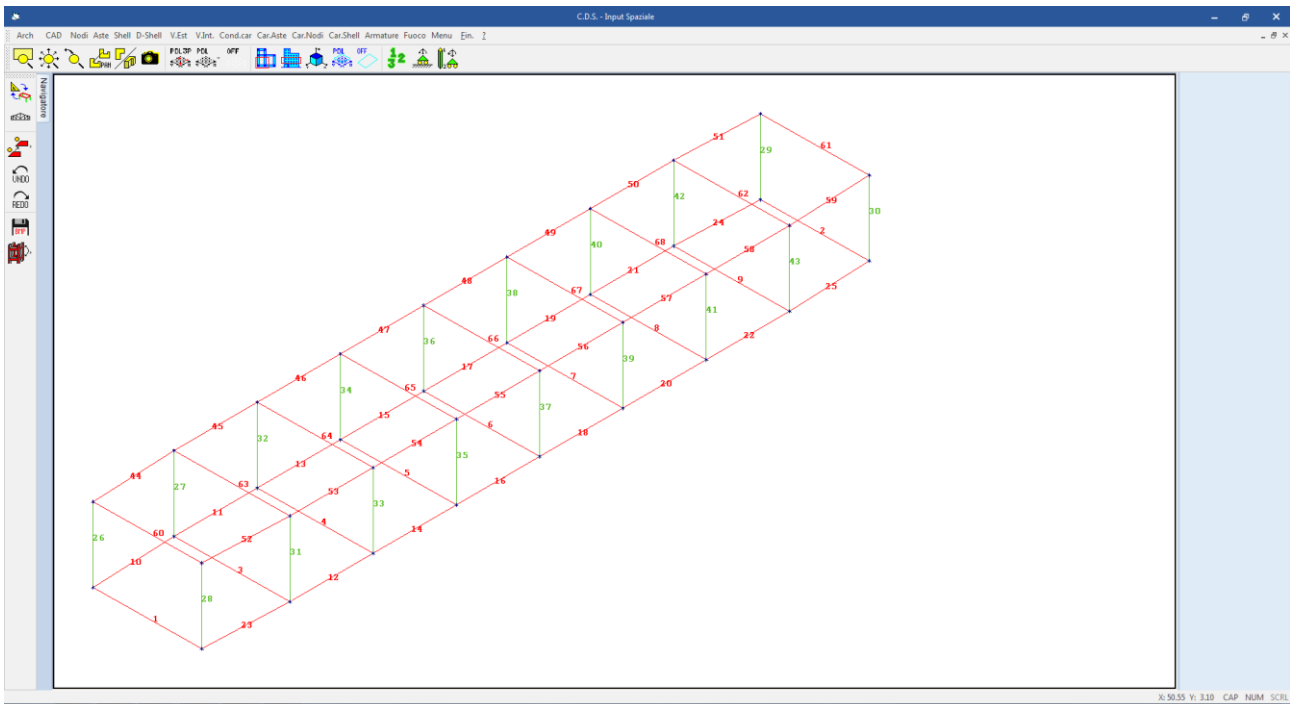
## 9.2 Presentazione dei risultati

Nelle figure che seguono sono riportati gli involuipi delle caratteristiche di sollecitazione, nonché gli schemi di applicazione di alcuni dei carichi.

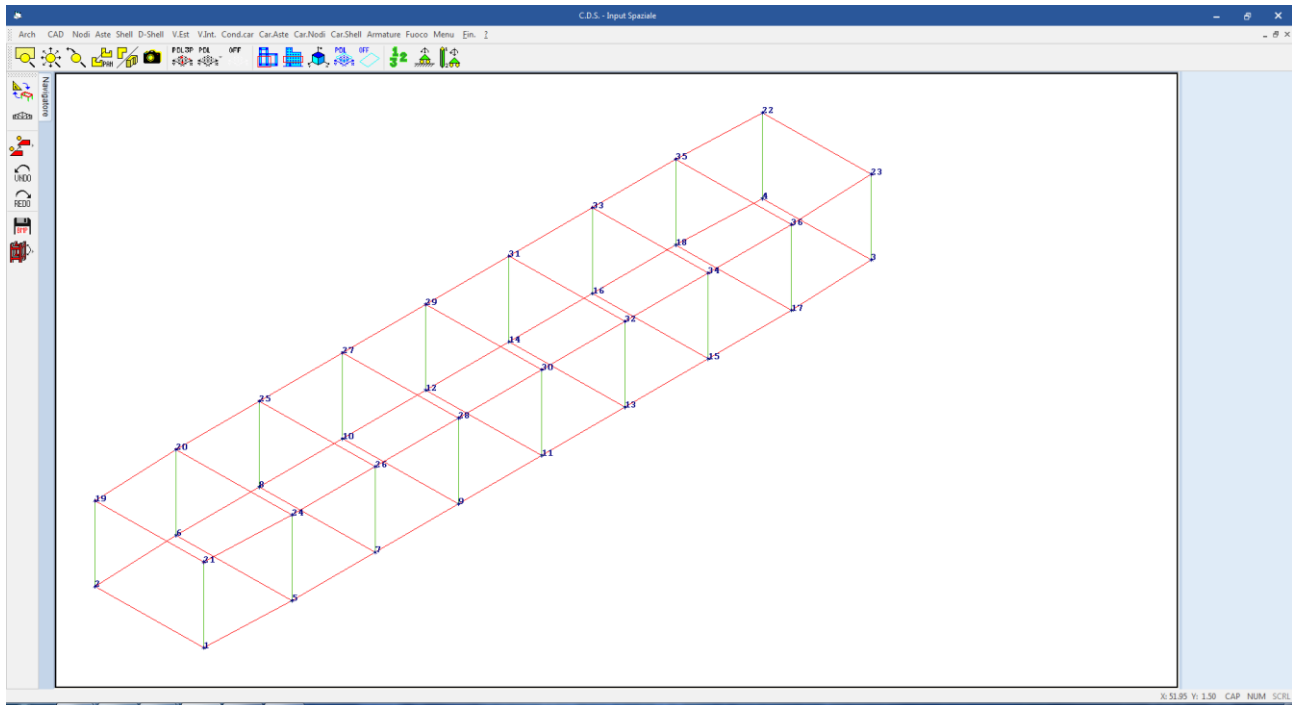
Le convenzioni sui segni sono quelle riportate nella parte iniziale del tabulato di calcolo allegato alla presente e comunque quelli tipici della Scienza delle Costruzioni. Le unità di misura sono ugualmente riportate nella parte iniziale del tabulato di calcolo.



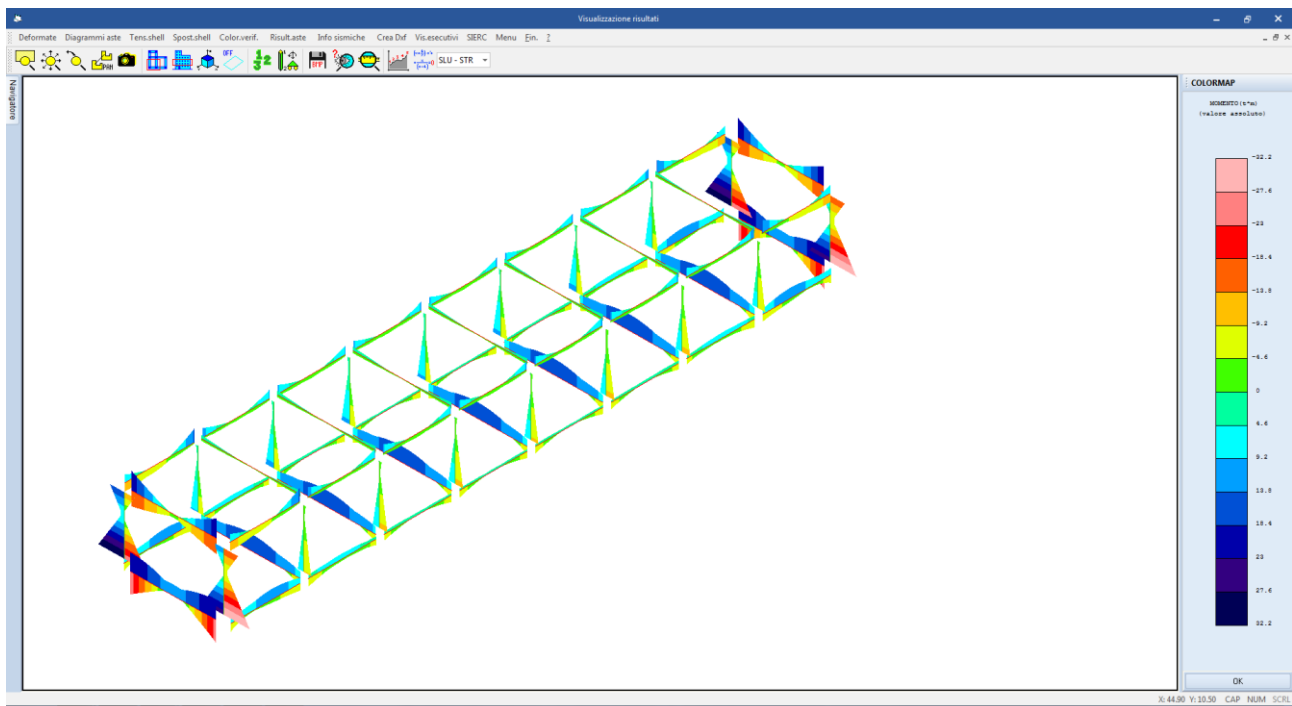
**Figura 13: numerazione fili strutturali**



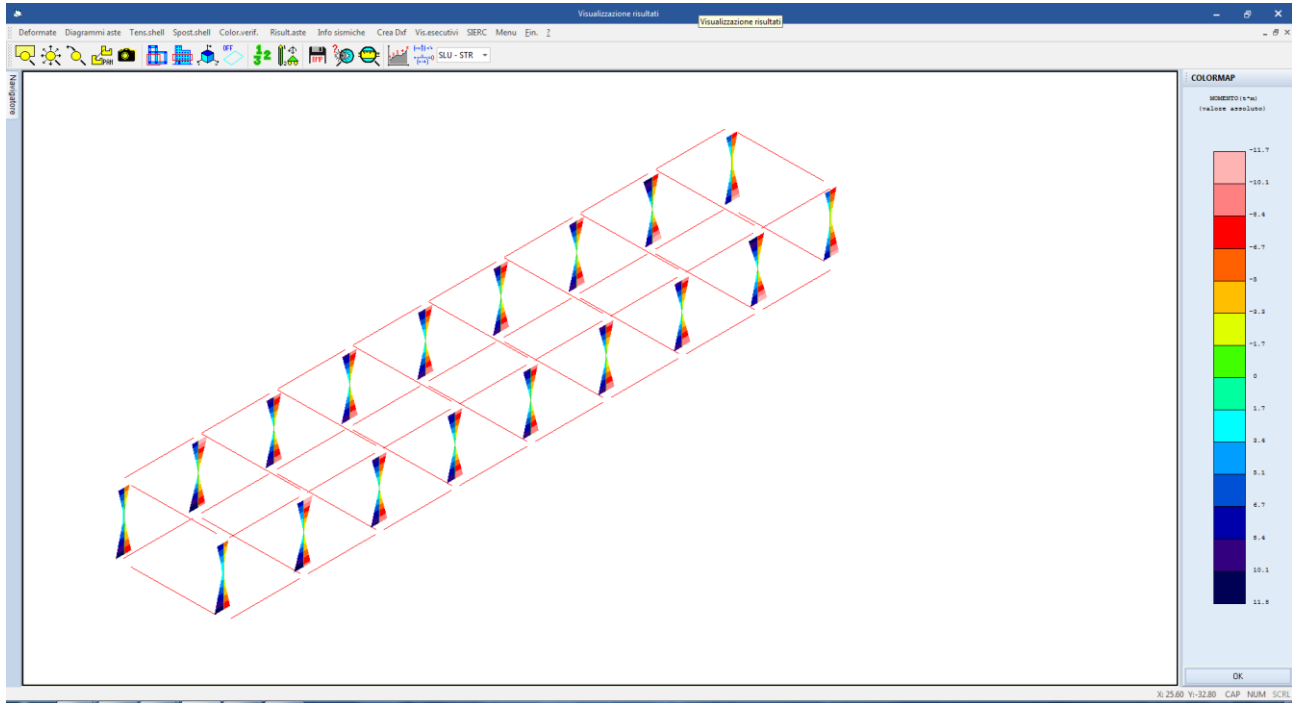
**Figura 14: numerazione aste del modello**



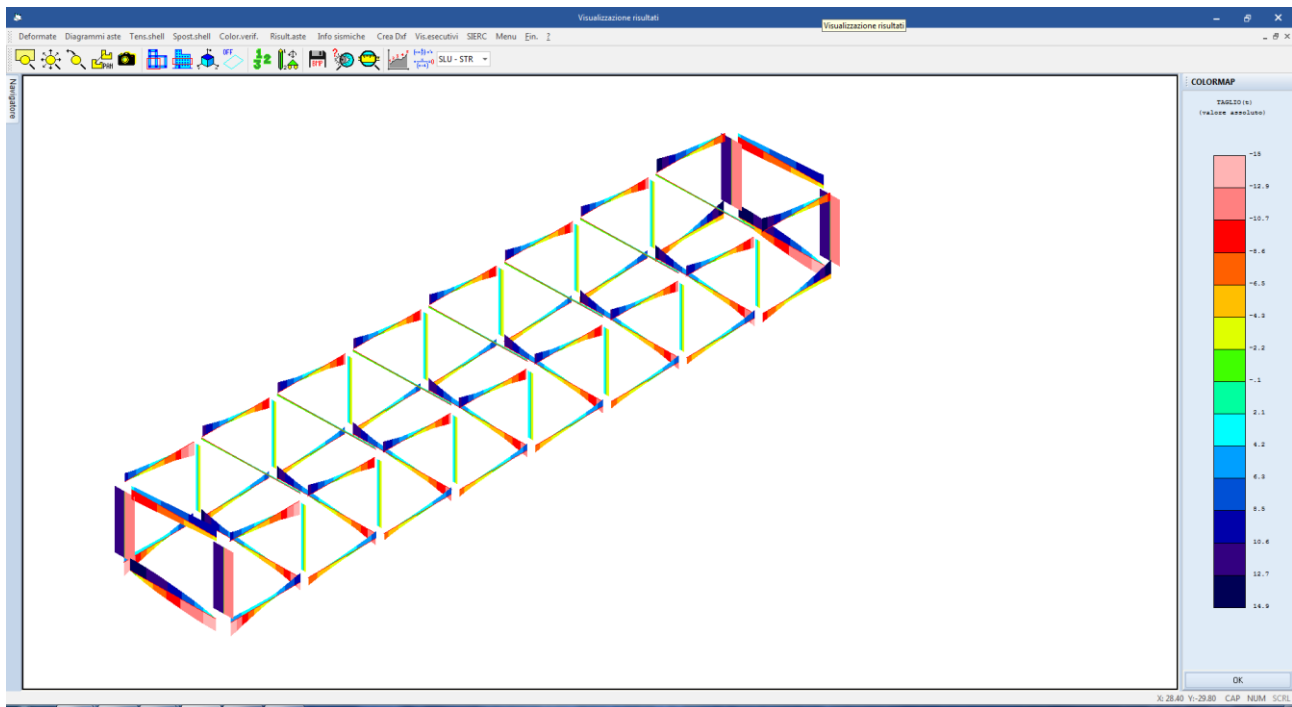
**Figura 15: numerazione nodi del modello**



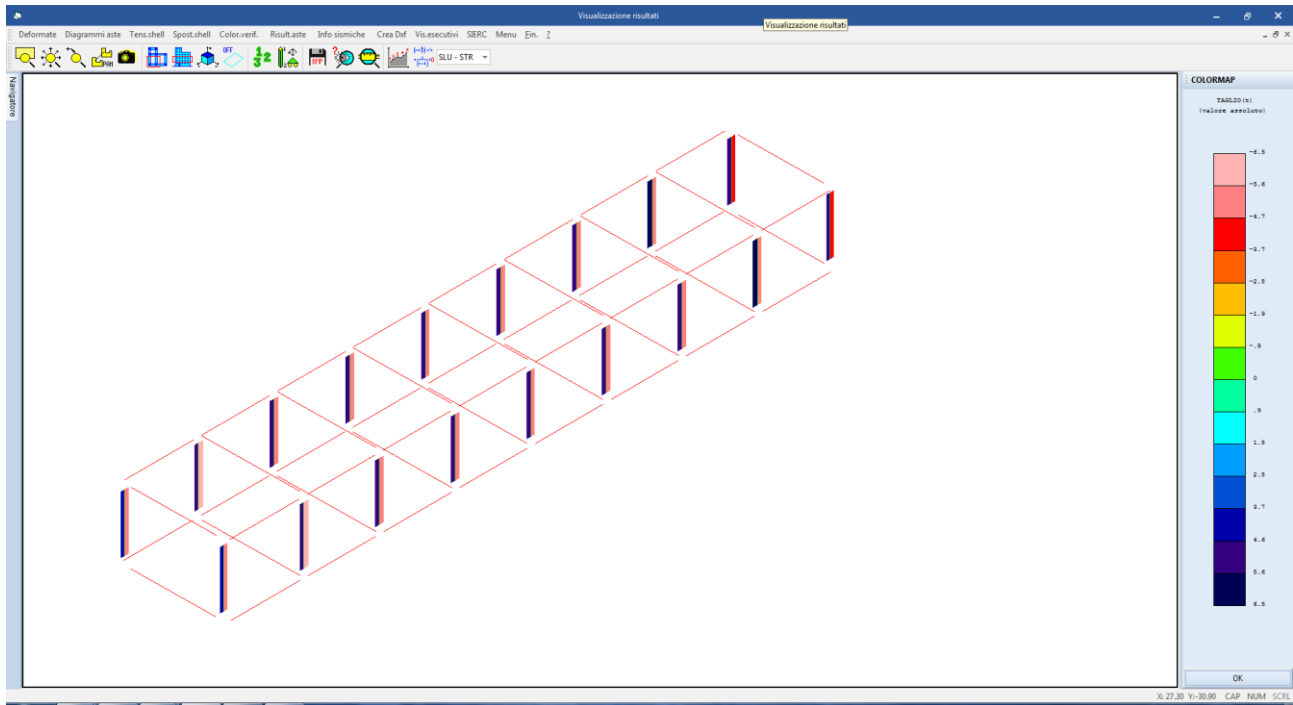
**Figura 16: involuipo dei momenti flettenti  $M_x$**



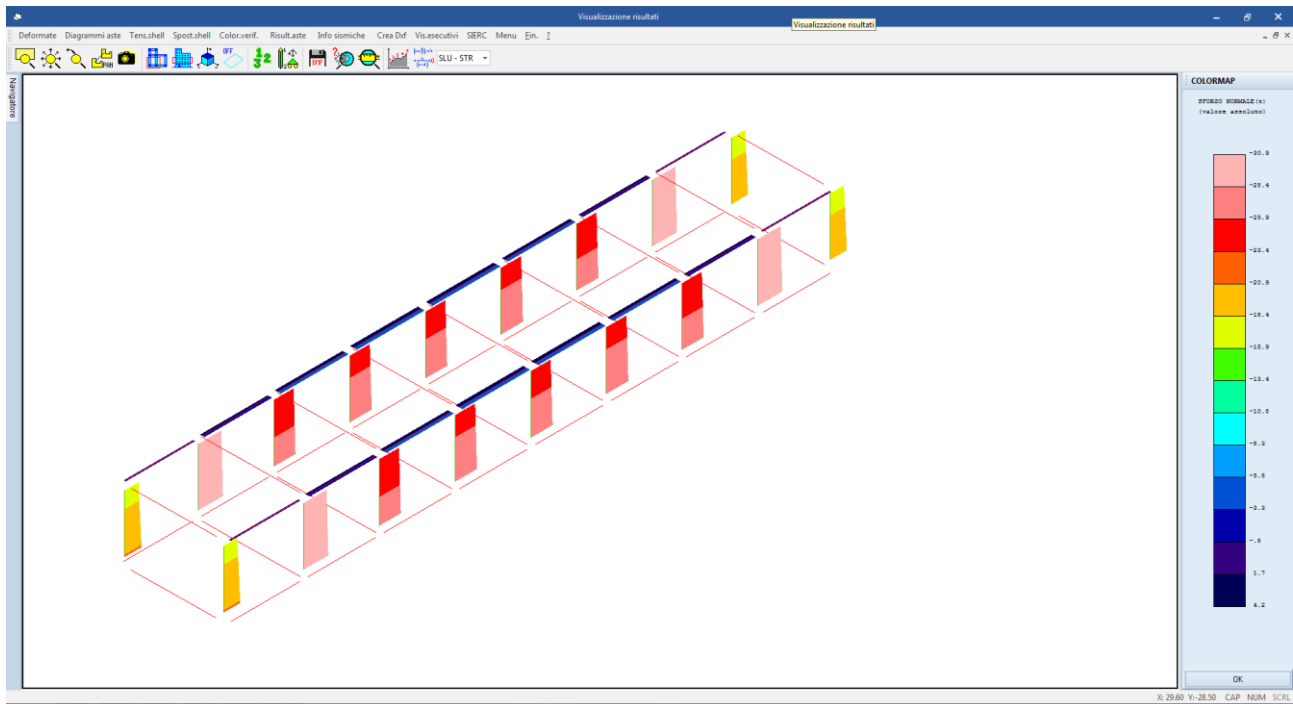
**Figura 17: involuppo dei momenti flettenti  $M_x$**



**Figura 18: involuppo taglio  $V_y$**

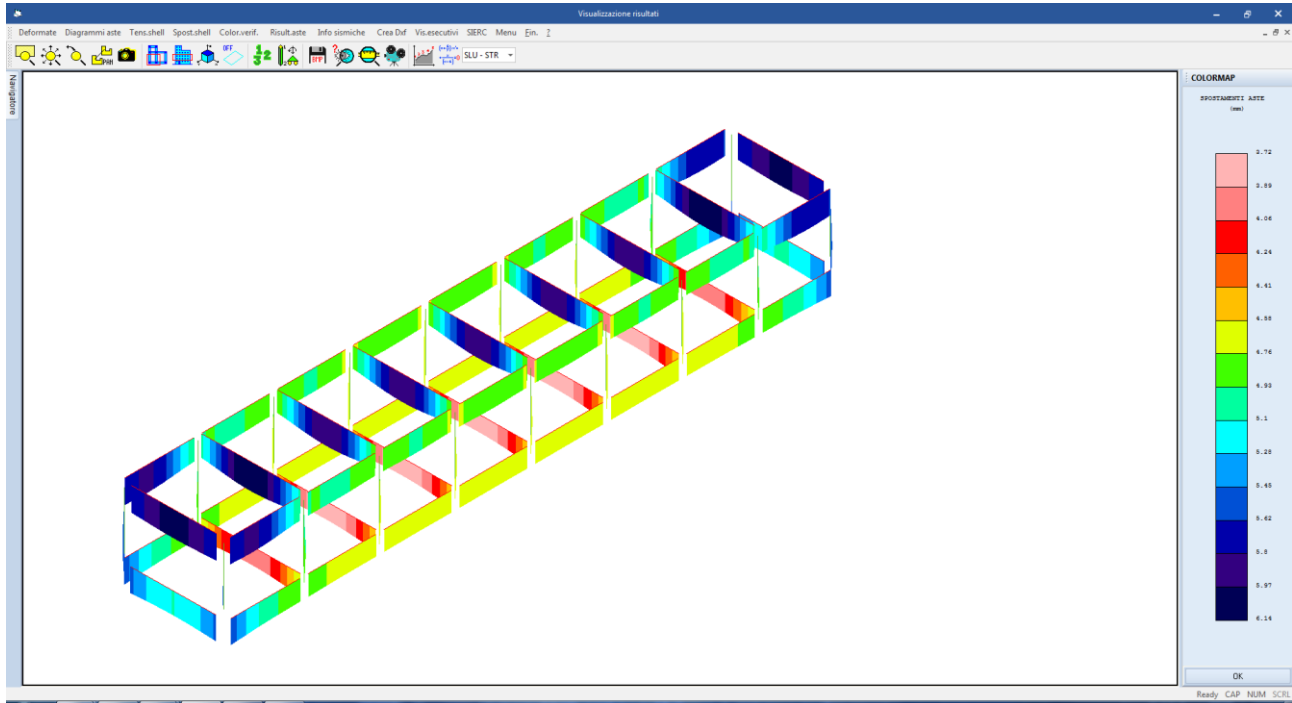


**Figura 19: involucro taglio  $V_x$**

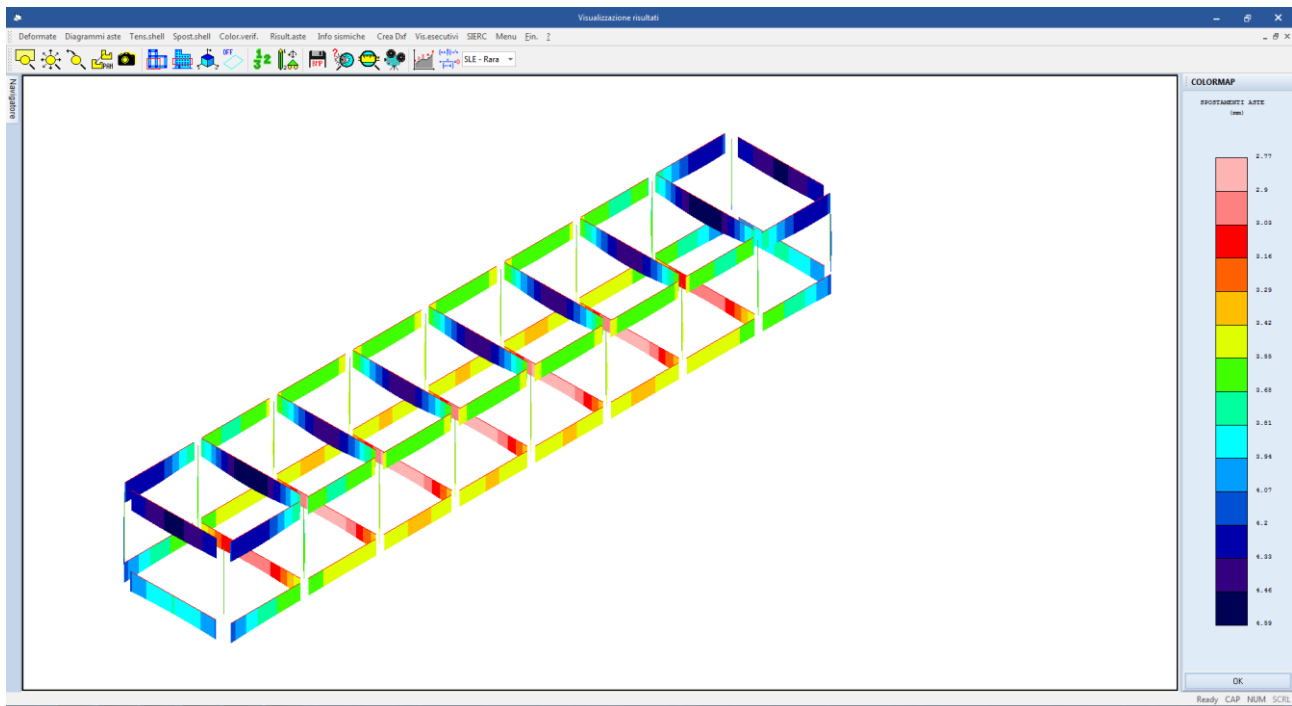


**Figura 20: involucro sforzo normale**

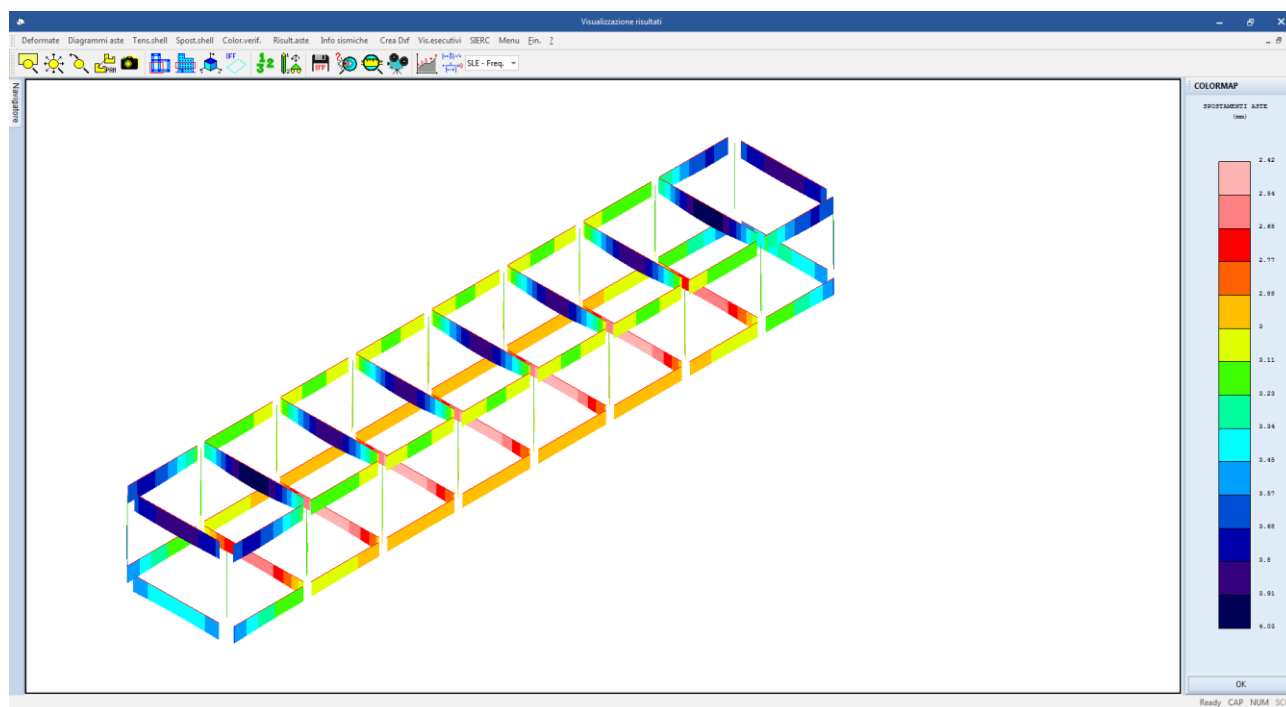




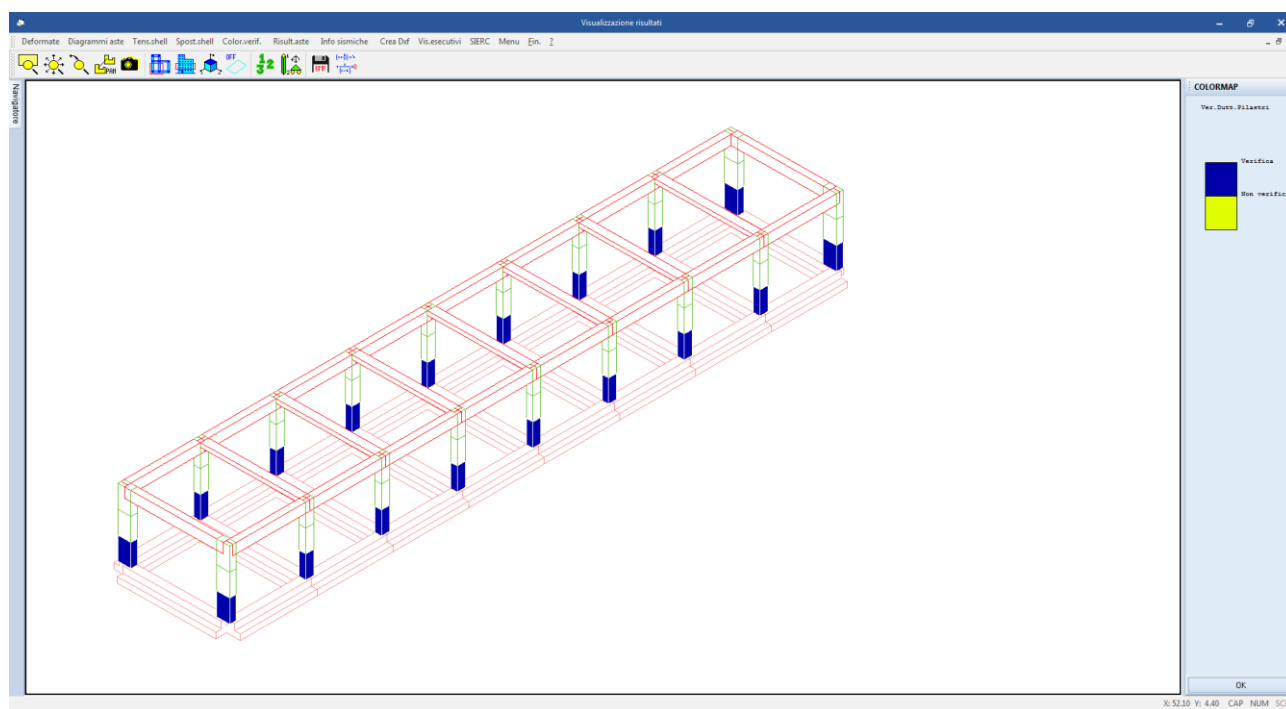
**Figura 21: colormap deformata combinazione SLV n.1**



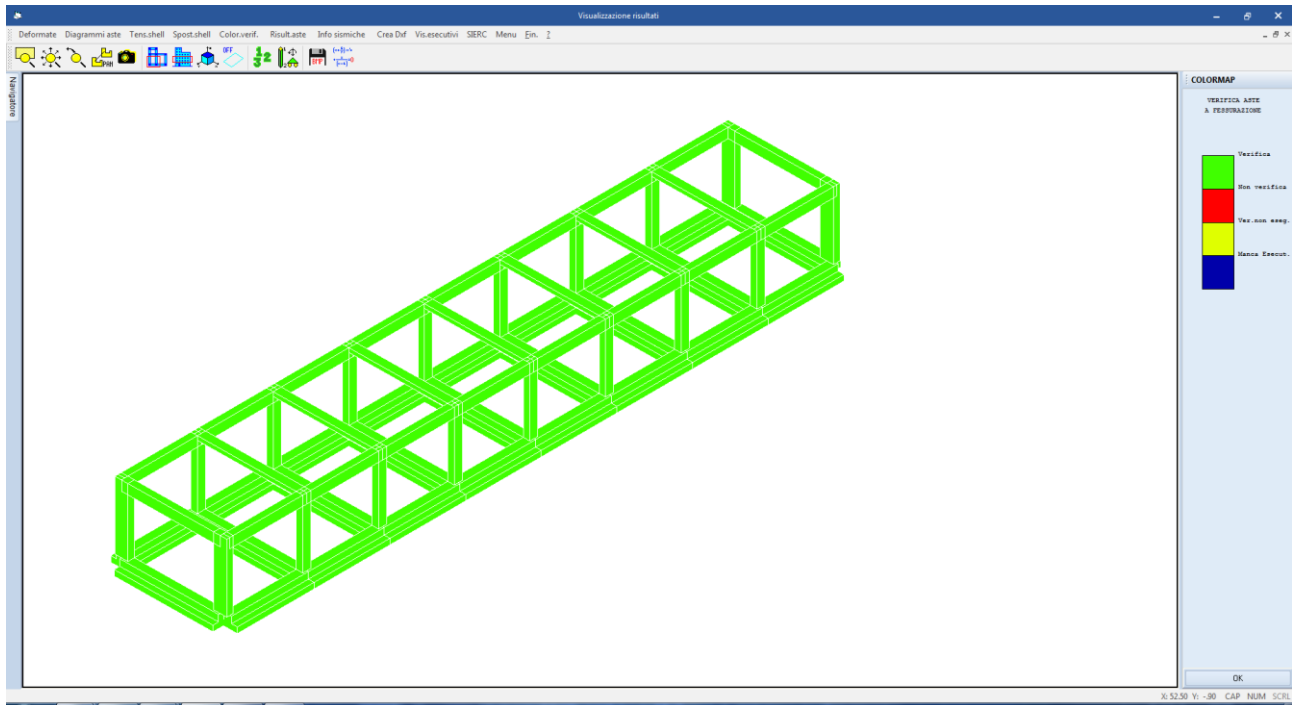
**Figura 22: colormap deformata combinazione SLE rara n.1**



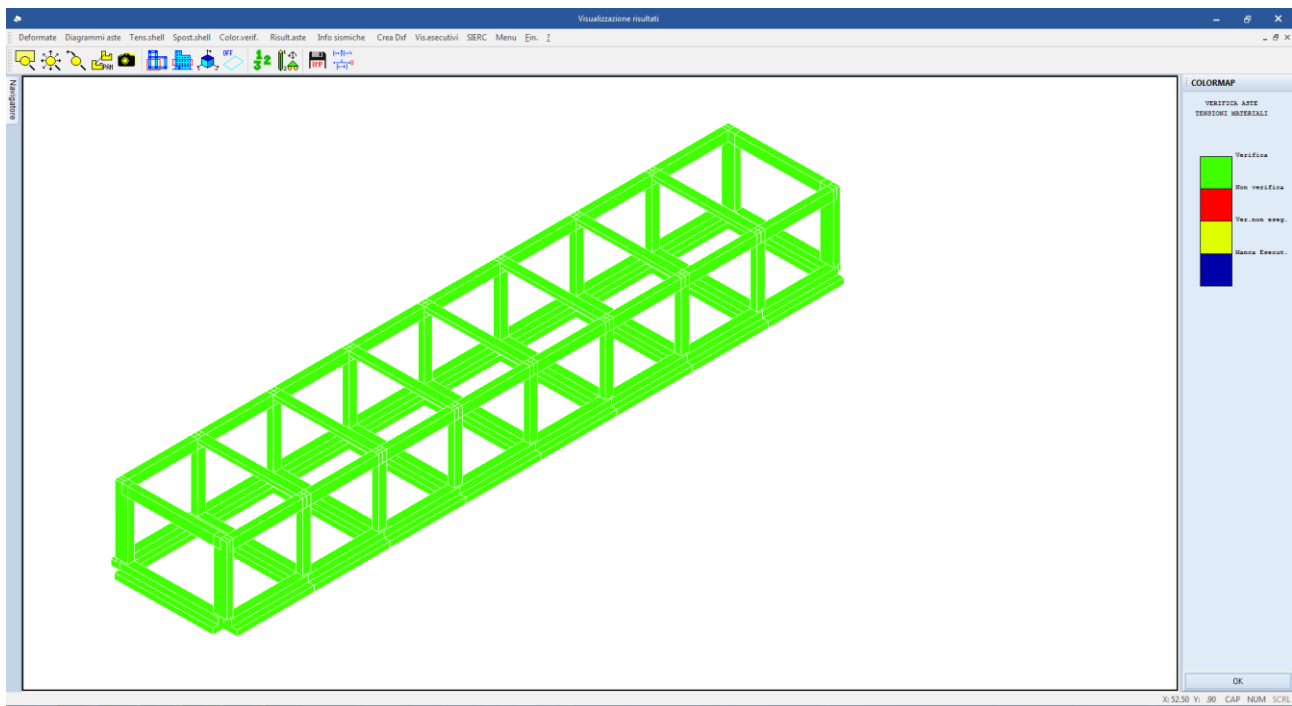
**Figura 23: colormap deformata combinazione SLE frequente n.1**



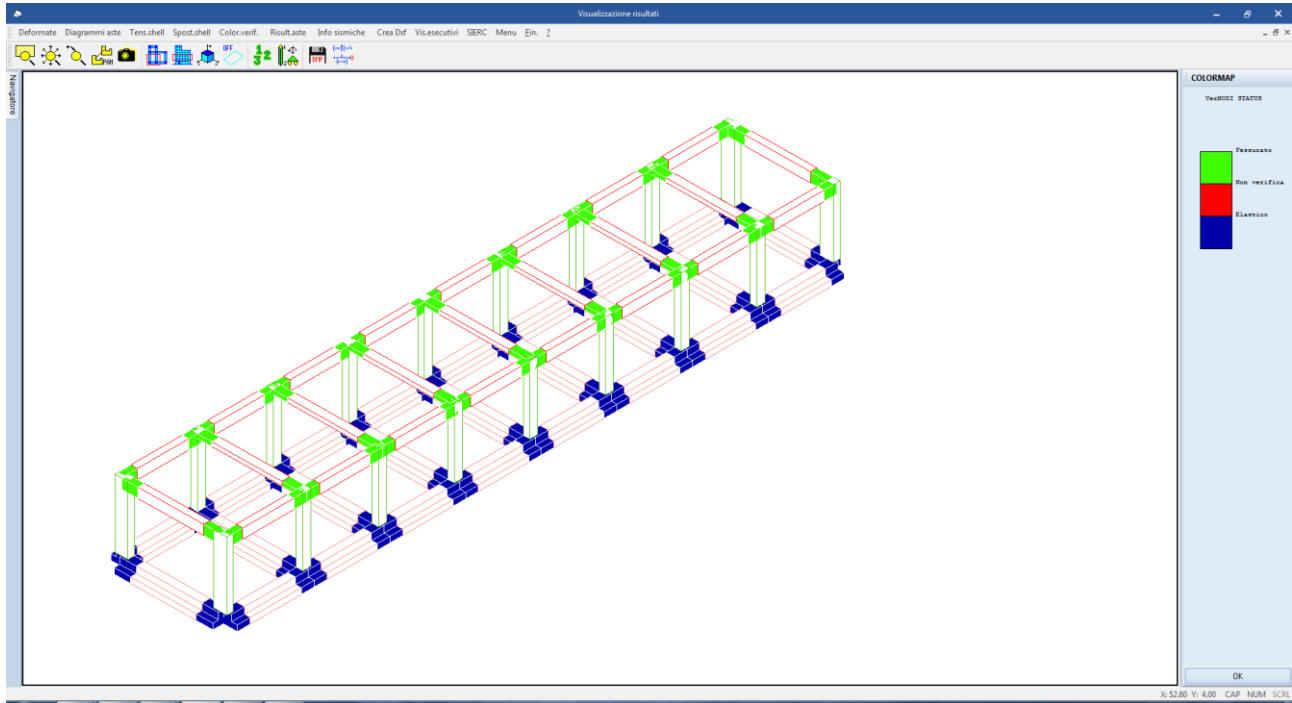
**Figura 24: colormap verifica duttilità spiccatto pilastri**



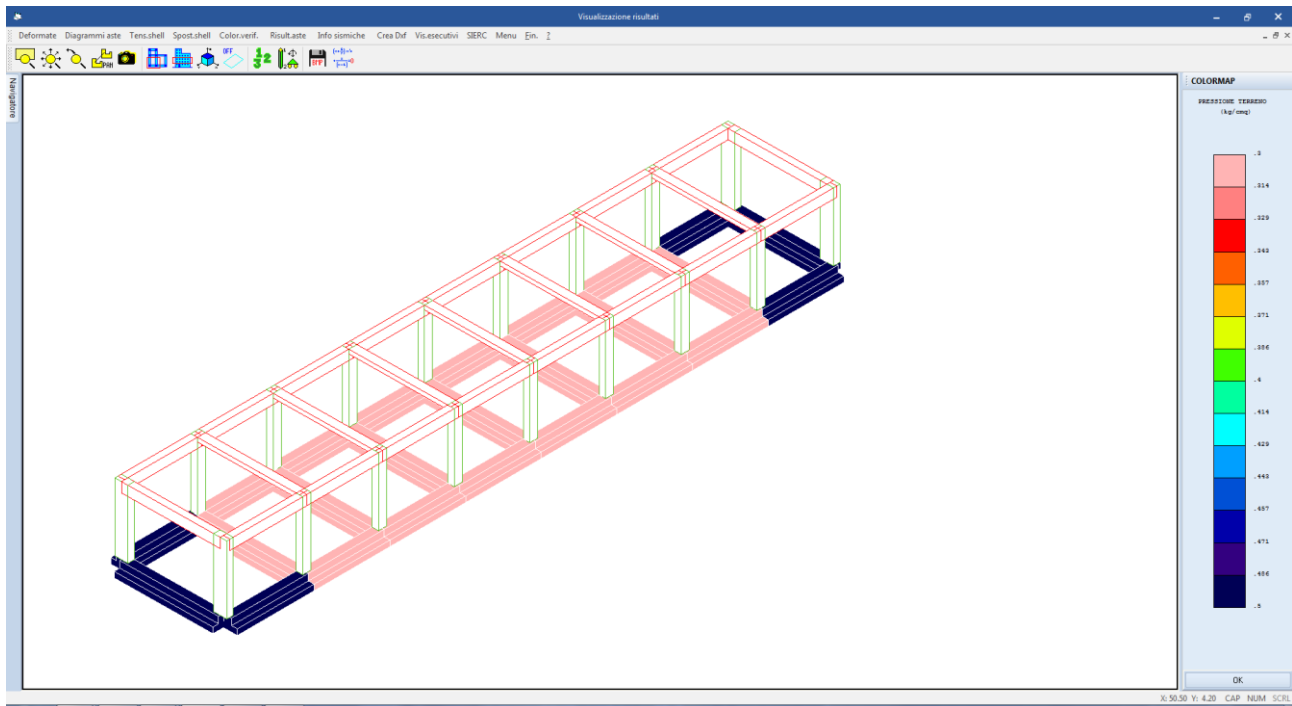
**Figura 25: colormap verifica stato limite di fessurazione**



**Figura 26: colormap verifica stato limite di tensione c.a.**



**Figura 27 – verifica nodi in c.a.**



**Figura 28: colormap pressione al suolo combinazione SLV n.1**

## 10 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI OPERATIVITA'

Per quanto riguarda il requisito di limitazione dell'operatività, la struttura deve essere progettata e costruita per sopportare un'azione sismica che abbia una probabilità di occorrenza più elevata di quella dell'azione sismica di progetto senza che si verifichi un danneggiamento con conseguenti limitazioni nell'utilizzo i cui costi sarebbero eccessivamente alti se rapportati con il costo della struttura in sé.

L'azione sismica da tenere in conto per il "requisito di mantenimento delle funzionalità operative" ha una probabilità di superamento del 81% nel tempo di ritorno  $T_r$  di 120 (grandezza funzione della vita utile della struttura e della classe di utilizzo).

Il "requisito relativo al mantenimento delle funzionalità operative" può considerarsi soddisfatto se gli spostamenti relativi tra i piani sono limitati secondo quanto stabilito al p.to 7.3.7.2 della [3].

### 10.1 Analisi e calcolo degli spostamenti

Gli spostamenti sono valutati utilizzando l'analisi dinamica modale con spettro di progetto applicata al modello tridimensionale dell'edificio.

I calcoli sono stati effettuati con lo stesso procedimento seguito per lo stato limite ultimo per quanto riguarda le combinazioni dei modi, l'eccentricità accidentale, le combinazioni delle azioni orizzontali e la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni.

Nel caso in esame, per edifici con tamponamenti collegati rigidamente alla struttura e che interferiscono con la deformabilità della stessa con comportamento fragile, si deve verificare che:

Verifica allo SLO  $qd_r < 0,0033h$

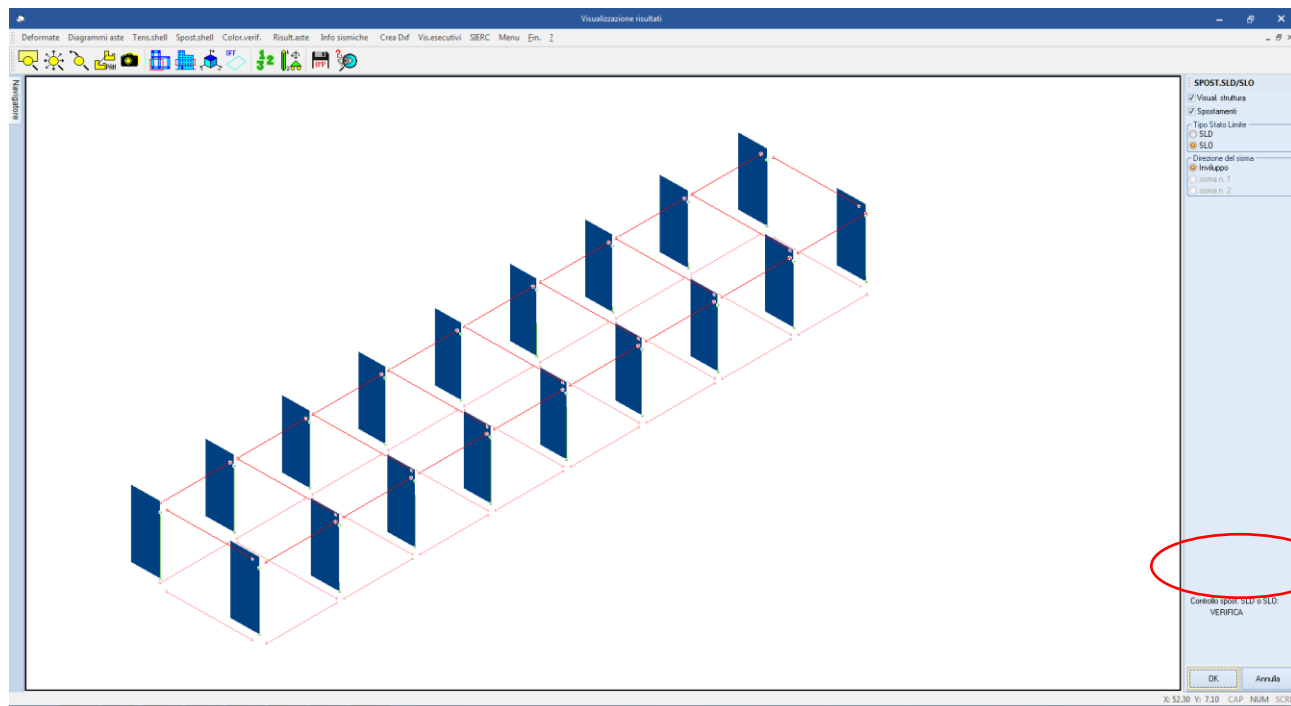
dove:

$d_r$  è lo spostamento relativo di interpiano calcolato sulla base delle indicazioni dei par. 7.3.3 e 7.3.4 della [3].

$h$  è l'altezza di interpiano per i vari livelli.

In base alla geometria dell'edificio si possono calcolare gli spostamenti di interpiano massimi stabiliti dalla normativa.

In figura seguente sono riportate le verifiche di spostamento secondo le due direzioni principali in pianta. Risulta verificato che gli spostamenti di interpiano sono inferiori ai limiti previsti dalla normativa.


**Figura 29: grafico spostamento SLO**

SPOSTAMENTI SISMICI RELATIVI														
IDENTIFICATIVO					INVILUPPO S.L.D.				INVILUPPO S.L.O.				Stringa di Controllo Verifica	
Filo N.ro	Quota inf. (m)	Quota sup. (m)	Nodo inf. N.ro	Nodo sup. N.ro	Sisma Nro	Combin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Sisma Nro	Combin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)		
19	0.00	4.14	2	19	2	28	4.885	20.700	2	28	3.622	13.800	VERIFICATO	
20	0.00	4.14	6	20	2	28	4.749	20.700	2	28	3.522	13.800	VERIFICATO	
21	0.00	4.14	1	21	2	31	4.885	20.700	2	31	3.622	13.800	VERIFICATO	
22	0.00	4.14	4	22	2	30	4.858	20.700	2	30	3.602	13.800	VERIFICATO	
23	0.00	4.14	3	23	2	25	4.858	20.700	2	25	3.602	13.800	VERIFICATO	
24	0.00	4.14	5	24	2	31	4.749	20.700	2	31	3.522	13.800	VERIFICATO	
25	0.00	4.14	8	25	2	28	4.616	20.700	2	28	3.422	13.800	VERIFICATO	
26	0.00	4.14	7	26	2	31	4.616	20.700	2	31	3.422	13.800	VERIFICATO	
27	0.00	4.14	10	27	2	28	4.482	20.700	2	28	3.323	13.800	VERIFICATO	
28	0.00	4.14	9	28	2	31	4.482	20.700	2	31	3.323	13.800	VERIFICATO	
29	0.00	4.14	12	29	2	28	4.348	20.700	2	28	3.224	13.800	VERIFICATO	
30	0.00	4.14	11	30	2	31	4.348	20.700	2	31	3.224	13.800	VERIFICATO	
31	0.00	4.14	14	31	2	30	4.476	20.700	2	30	3.319	13.800	VERIFICATO	
32	0.00	4.14	13	32	2	25	4.476	20.700	2	25	3.319	13.800	VERIFICATO	
33	0.00	4.14	16	33	2	30	4.604	20.700	2	30	3.413	13.800	VERIFICATO	
34	0.00	4.14	15	34	2	25	4.604	20.700	2	25	3.413	13.800	VERIFICATO	
35	0.00	4.14	18	35	2	30	4.731	20.700	2	30	3.508	13.800	VERIFICATO	
36	0.00	4.14	17	36	2	25	4.731	20.700	2	25	3.508	13.800	VERIFICATO	

## 11 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI E DI ESERCIZIO

### 11.1 Verifiche delle travi

Le verifiche di resistenza flessione in campata ed agli appoggi delle travi viene svolta in automatico dal programma di calcolo assieme alle verifiche sulle prescrizioni geometriche e sui dettagli costruttivi previsti al cap.7 delle NTC 2018.

#### 11.1.1 Prescrizioni sulla geometria

Le prescrizioni geometriche previste dalla normativa (par. 7.4.6.1 delle NTC2018) risultano tutte verificate essendo:

- La larghezza delle travi sismiche risulta essere sempre maggiore di 200 mm (minimo 700 mm);
- Il rapporto b/h tra larghezza ed altezza delle travi risulta sempre  $\geq 0.25$ ;
- L'eccentricità massima della linea d'asse della trave rispetto a quella della colonna a cui è collegata risulta essere nulla e quindi sempre minore di  $b_c/4$  dove  $b_c$  è la dimensione trasversale maggiore della colonna normale all'asse longitudinale della trave è assicurato così un trasferimento efficace delle azioni cicliche tra una trave sismica primaria e una colonna [p.to 7.4.6.1.3 della NTC2018].

#### 11.1.2 Prescrizioni sui quantitativi di armatura ed i dettagli costruttivi

Il programma di calcolo verifica in automatico il rispetto dei quantitativi minimi di armatura ed i seguenti dettagli costruttivi:

- almeno due barre di diametro non inferiore a 14 mm devono essere presenti superiormente e inferiormente per tutta la lunghezza della trave;
- in ogni sezione della trave, il rapporto geometrico  $\rho$  relativo all'armatura tesa, indipendentemente dal fatto che l'armatura tesa sia quella al lembo superiore della sezione  $A_s$  o quella al lembo inferiore della sezione  $A_i$ , deve essere compreso entro i seguenti limiti:

$$\frac{1,4}{f_{yk}} < \rho < \rho_{comp} + \frac{3,5}{f_{yk}}$$

dove:

$\rho$  è il rapporto geometrico relativo all'armatura tesa pari ad  $A_s/(b \cdot h)$  oppure ad  $A_i/(b \cdot h)$ ;

$\rho_{comp}$  è il rapporto geometrico relativo all'armatura compressa;

$f_{yk}$  è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio (in MPa).

- l'armatura compressa non deve essere mai inferiore ad un quarto di quella tesa:

$$\rho_{comp} \geq 0.25 \rho$$

- nelle zone critiche della trave, inoltre, deve essere:

$$\rho_{comp} \geq 0.5 \rho$$

Vengono inoltre rispettati i limiti previsti per le travi in calcestruzzo in zona non sismica (punto 4.1.6.1.1 delle NTC2018):

- l'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t \cdot d$$

 <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0202 001	REV. A	FOGLIO 56 di 104

e comunque non minore di  $0.0013 b_t \cdot d$

dove:

$b_t$  rappresenta la larghezza media della zona tesa;

$d$  è l'altezza utile della sezione;

$f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione assiale;

$f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

- negli appoggi di estremità all'intradosso deve essere disposta un'armatura efficacemente ancorata, calcolata per uno sforzo di trazione pari al taglio;
- al di fuori delle zone di sovrapposizione, l'area di armatura tesa o compressa non deve superare individualmente  $A_{s,max} = 0,04 A_c$ , essendo  $A_c$  l'area della sezione trasversale di calcestruzzo.
- le travi devono prevedere armatura trasversale costituita da staffe con sezione complessiva non inferiore ad  $A_{st} = 1,5 b \text{ mm}^2/\text{m}$  essendo  $b$  lo spessore minimo dell'anima in millimetri, con un minimo di tre staffe al metro e comunque passo non superiore a 0,8 volte l'altezza utile della sezione;
- in ogni caso almeno il 50% dell'armatura necessaria per il taglio deve essere costituita da staffe.

### 11.1.3 Verifica travi a pressoflessione

Il calcolo dell'armatura delle travi è stato eseguito considerando i valori involuppo delle sollecitazioni ricavate dall'analisi strutturale e seguendo le prescrizioni della normativa. In ogni sezione, il momento resistente deve risultare, superiore o uguale al momento flettente sollecitante di calcolo. I momenti flettenti sollecitanti di calcolo da utilizzare per il dimensionamento e la verifica delle travi sono quelli ottenuti dall'analisi globale della struttura.

Il diagramma dei momenti flettenti sollecitanti è stato traslato di un valore pari a:

$$a_1 = \frac{z \cdot (\cot \theta - \cot \alpha)}{2}$$

dove:

$z$  è il braccio della coppia interna,  $z = 0,9 \cdot d$ ;

$\theta$  è l'angolo variabile tra il puntone compresso di calcestruzzo e l'asse della trave perpendicolare alla forza di taglio;

$\alpha$  è l'angolo di inclinazione delle armature trasversali rispetto all'asse della trave perpendicolare alla forza di taglio,  $\alpha = 90^\circ$ .

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nelle tabelle di verifica aste in calcestruzzo per gli stati limite ultimi.

**Trattandosi di una struttura in calcestruzzo d'uso IV la verifica di resistenza è condotta sia allo SLU che allo SLD.**

<b>Filo Iniz./Fin.</b>	: Sulla prima riga numero del filo del nodo iniziale, sulla seconda quello del nodo finale
<b>Cotg <math>\theta</math></b>	: Cotangente Angolo del puntone compresso
<b>Quota</b>	: Sulla prima riga quota del nodo iniziale, sulla seconda quota del nodo finale
<b>SgmT</b>	: Solo per le travi di fondazione: Pressione di contatto sul terreno in Kg/cm <sup>2</sup> calcolata con i valori caratteristici delle azioni assumendo i coefficienti gamma pari ad uno.
<b>AmpC</b>	: Solo per le travi di elevazione: Coefficiente di amplificazione dei carichi statici per tenere in conto della verifica locale dell'asta a sisma verticale.
<b>N/Nc</b>	: Solo per i pilastri: Percentuale della resistenza massima a compressione della sezione di solo calcestruzzo.



- Tratto** : Se una trave è suddivisa in più tratti sulla prima riga è riportato il numero del tratto, sulla terza il numero di suddivisioni della trave
- Sez B/H** : Sulla prima riga numero della sezione nell'archivio, sulla seconda base della sezione, sulla terza altezza. Per sezioni a T è riportato l'ingombro massimo della sezione
- Concio** : Numero del concio
- Co Nr** : Numero della combinazione e in sequenza sollecitazioni ultime di calcolo che forniscono la massima deformazione nell'acciaio e nel calcestruzzo per la verifica a flessione
- GamRd** : Solo per le travi di fondazione: Coefficiente di sovrarresistenza.
- M Exd** : Momento ultimo di calcolo asse vettore X (per le travi incrementato dalla traslazione del diagramma del momento flettente)
- M Eyd** : Momento ultimo di calcolo asse vettore Y
- N Ed** : Sforzo normale ultimo di calcolo
- x / d** : Rapporto fra la posizione dell'asse neutro e l'altezza utile della sezione moltiplicato per 100
- ef% ec% (\*100)** : deformazioni massime nell'acciaio e nel calcestruzzo moltiplicate per 10.000. Valore limite per l'acciaio 100 (1%), valore limite nel calcestruzzo 35 (0,35%)
- Area** : Area del ferro in centimetri quadri; per le travi rispettivamente superiore ed inferiore, per i pilastri armature lungo la base e l'altezza della sezione
- Co Nr** : Numero della combinazione e in sequenza sollecitazioni ultime di calcolo che forniscono la minore sicurezza per le azioni taglianti e torcenti
- V Exd** : Taglio ultimo di calcolo in direzione X
- V Eyd** : Taglio ultimo di calcolo in direzione Y
- T sdu** : Momento torcente ultimo di calcolo
- V Rxd** : Taglio resistente ultimo delle staffe in direzione X
- V Ryd** : Taglio resistente ultimo delle staffe in direzione Y
- T Rd** : Momento torcente resistente ultimo delle staffe
- T Rld** : Momento torcente resistente ultimo dell'armatura longitudinale
- Coe Cls** : Coefficiente per il controllo di sicurezza del calcestruzzo alle azioni taglianti e torcenti moltiplicato per 100; la sezione è verificata se detto valore è minore o uguale a 100
- Coe Staf** : Coefficiente per il controllo di sicurezza delle staffe alle azioni taglianti e torcenti moltiplicato per 100; la sezione è verificata se detto valore è minore o uguale a 100
- Alon** : Armatura longitudinale a torsione (nelle travi rettangolari per le quali è stata effettuata la verifica a momento My in questo dato viene stampata anche l'armatura flessionale dei lati verticali)
- Staffe** : Passo staffe e lunghezza del tratto da armare
- Moltip Ultimo** : Solo per le stampe di riverifica:  
 Moltiplicatore dei carichi che porta a collasso la sezione. Il percorso dei carichi seguito e' a sforzo normale costante. Le deformazioni riportate sono determinate dalle sollecitazioni di calcolo amplificate del moltiplicatore in parola.

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ELEVAZIONE																											
Filo Iniz. Fin. Ctg	Quota Iniz. Final AmpC	T r a t t o	Sez Bas Alt	C o n c i o	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE										VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE												
					Co mb	M Exd (t*m)	N Ed (t)	Moltip Ultimo	x/ d	ef% 100	ec% 100	Area cmq sup inf	Co mb	V Exd (t)	V Eyd (t)	T Sdu (t*m)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	TRd (t*m)	TRld (t*m)	Coe Cls	Coe Sta	ALon cmq	Staffe Pas Lun Fi			
19	4.14	7	1	28	10.0	0.0	1.87	14	100	16	9.4	9.4	3	0.0	9.2	0.0	22.8	36.4	9.8	0.0	15	25	0.0	13	65	8	
20	4.14	40	3	28	8.5	0.0	2.20	14	100	16	9.4	9.4	6	0.0	-11.7	0.0	18.5	29.5	7.9	0.0	19	40	0.0	16	302	8	
2.5	1.00	60	5	28	-15.1	0.0	1.24	14	100	16	9.4	9.4	6	0.0	-15.0	0.0	22.8	36.4	9.8	0.0	25	41	0.0	13	65	8	
20	4.14	7	1	18	-10.4	0.0	1.79	14	100	16	9.4	9.4	3	0.0	11.6	0.0	22.8	36.4	9.8	0.0	19	32	0.0	13	65	8	
25	4.14	40	3	6	3.1	1.6	5.91	13	100	16	9.4	9.4	3	0.0	8.2	0.0	18.5	29.5	7.9	0.0	14	28	0.0	16	290	8	
2.5	1.00	60	5	12	-10.0	0.0	1.86	14	100	16	9.4	9.4	6	0.0	-11.1	0.0	22.8	36.4	9.8	0.0	18	31	0.0	13	65	8	
25	4.14	7	1	18	-9.7	0.0	1.92	14	100	16	9.4	9.4	3	0.0	11.1	0.0	22.8	36.4	9.8	0.0	18	31	0.0	13	65	8	
27	4.14	40	3	6	3.9	2.2	4.64	13	100	15	9.4	9.4	6	0.0	-7.9	0.0	18.5	29.5	7.9	0.0	13	27	0.0	16	290	8	
2.5	1.00	60	5	12	-9.9	0.0	1.89	14	100	16	9.4	9.4	6	0.0	-11.3	0.0	22.8	36.4	9.8	0.0	19	31	0.0	13	65	8	
27	4.14	7	1	18	-9.7	0.0	1.92	14	100	16	9.4	9.4	3	0.0	11.1	0.0	22.8	36.4	9.8	0.0	18	30	0.0	13	65	8	
29	4.14	40	3	6	3.9	2.5	4.67	13	100	15	9.4	9.4	3	0.0	7.7	0.0	18.5	29.5	7.9	0.0	13	26	0.0	16	290	8	
2.5	1.00	60	5	14	-9.6	0.0	1.94	14	100	16	9.4	9.4	6	0.0	-11.0	0.0	22.8	36.4	9.8	0.0	18	30	0.0	13	65	8	
29	4.14	7	1	24	-9.6	0.0	1.94	14	100	16	9.4	9.4	6	0.0	11.0	0.0	22.8	36.4	9.8	0.0	18	30	0.0	13	65	8	
31	4.14	40	3	6	3.9	2.5	4.66	13	100	15	9.4	9.4	3	0.0	-7.7	0.0	18.5	29.5	7.9	0.0	13	26	0.0	16	290	8	
2.5	1.00	60	5	12	-9.7	0.0	1.92	14	100	16	9.4	9.4	3	0.0	-11.1	0.0	22.8	36.4	9.8	0.0	18	30	0.0	13	65	8	





STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.D. - ELEVAZIONE																										
Filo Iniz. Fin. Ctg	Quota Iniz. Final t	T f a	Sez Bas Alt	C o n c	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE										VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE											
					Co mb	M Exd (t'm)	N Ed (t)	Moltip Ultimo	x/ d	sf% 100	sc% 100	Area cmq sup inf	Co mb	V Exd (t)	V Eyd (t)	T Sdu (t'm)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	TRd (t'm)	TRId (t'm)	Coe Cts	Coe Sta	ALon cmq	Staffe Pas Lun Fi		
34	4.14	26	1	30	-2.5	0.0	2.00	27	94	35	6.3	6.3	29	0.0	1.5	0.0	30.7	26.3	3.6	0.0	6	4	0.0	4	28	8
33	4.14	50	3	34	1.0	0.0	5.23	27	94	35	6.3	6.3	25	0.0	-1.4	0.0	29.6	12.7	3.5	0.0	5	11	0.0	13	548	8
2.5		25	5	25	-2.5	0.0	2.00	27	94	35	6.3	6.3	25	0.0	-1.5	0.0	30.7	26.3	3.6	0.0	6	4	0.0	4	28	8

#### 11.1.4 Calcolo del taglio sollecitante di progetto

Per le strutture di classe di duttilità CDB, al fine di escludere la formazione di meccanismi di rottura fragili dovuti al taglio, l'azione di taglio di progetto nelle travi sismiche primarie deve essere determinata in accordo con il criterio della capacità, sulla base dell'equilibrio della trave sotto: a) il carico trasversale agente su di essa nella situazione sismica di progetto e b) i momenti relativi alle sezioni di estremità  $M_{i,d}$  (con  $i=1,2$  che denotano le sezioni di estremità della trave), corrispondenti alla formazione della cerniera plastica per le direzioni positive e negative dell'azione sismica. Si deve considerare la formazione delle cerniere plastiche alle estremità delle travi o, nel caso si formino prima, negli elementi verticali convergenti nei nodi a cui l'estremità della trave è collegata. In corrispondenza della sezione terminale  $i$  si devono calcolare due valori per la forza di taglio agente, cioè il massimo  $V_{Ed,max,i}$ ; ed il minimo  $V_{Ed,min,i}$ , corrispondenti ai momenti  $M_{i,d}$  di estremità massimo positivo e massimo negativo che possono svilupparsi alle estremità 1 e 2 della trave presa a riferimento.

I valori minimo e massimo dell'azione di taglio di progetto vengono calcolati secondo il criterio della capacità con la seguente espressione, (Figura 30):

$$V_{Ed,i} = \frac{(G_k + \psi_{ik} \cdot Q_k) \times l_{cl}}{2} + \frac{M_{i,d} + M_{j,d}}{l_{cl}}$$

dove:

$G_k$  è il carico gravitazionale,

$\psi_{ik}$  è il coefficiente di amplificazione del carico variabile,

$Q_k$  è il carico accidentale,

$l_{cl}$  è la lunghezza netta della trave,

$M_{i,d}$  e  $M_{j,d}$  sono i momenti resistenti amplificati ai due estremi della trave.

I momenti di estremità  $M_{i,d}$  possono essere determinati come segue:

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rb,i} \min \left( 1, \frac{\sum M_{Rc}}{\sum M_{Rb}} \right)$$

Dove:

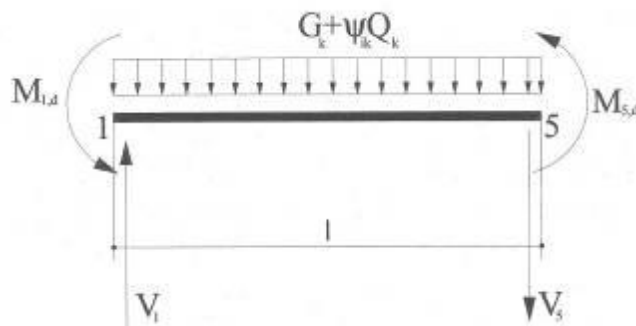
$\gamma_{Rd}$  è il coefficiente che tiene conto della possibile sovra resistenza dovuta all'incrudimento dell'acciaio, che nel caso di travi di classe "CDB" può essere preso uguale a 1,1;

$M_{Rb,i}$  è il valore di progetto del momento resistente della trave all'estremità  $i$  nel senso del momento flettente sismico sotto il senso considerato dell'azione sismica;

$\sum M_{Rc}$  e  $\sum M_{Rb}$  sono rispettivamente la somma, dei valori di progetto dei momenti resistenti delle colonne e la somma dei valori di progetto dei momenti resistenti delle travi che convergono nel nodo. Il valore di  $\sum M_{Rc}$  deve corrispondere all'azione assiale della colonna, nella situazione sismica di progetto per il senso considerato dell'azione sismica.

I momenti resistenti di estremità sono stati calcolati sulla base delle armature effettivamente disposte e considerando due valori dell'azione di taglio, massimo e minimo, assumendo rispettivamente la presenza e

l'assenza dei carichi variabili e i momenti di estremità con i due possibili segni, da assumere in ogni caso concordi.



**Figura 30: calcolo delle forze di taglio sulle travi secondo il criterio della capacità**

### 11.1.5 Definizione della lunghezza della zona critica

Si definisce zona critica, per una struttura di classe di duttilità bassa (CDB), la zona, di una trave sismica primaria che si estende fino ad una distanza  $l_{cr} = 1.0 h_w$  (altezza della trave) dalla sezione trasversale di estremità in cui la trave è collegata ad un nodo trave-colonna e che si estende di  $l_{cr}$  da entrambi i lati di qualsiasi altra sezione trasversale in cui possano verificarsi plasticizzazioni sotto la situazione sismica di progetto:

$$l_{cr} = 1,0 \times h_w \quad [\text{p.to 7.4.6.1.1 delle NTC2018}]$$

### 11.1.6 Disposizioni riguardanti le armature trasversali

All'interno delle regioni critiche di travi sismiche primarie devono essere disposte staffe che soddisfino le seguenti condizioni, [p.to 7.4.6.2.1 della NTC2018]:

- il diametro  $d_{bw}$  delle staffe non deve essere inferiore a 6 mm. In sede di progetto si sono adottate staffe di diametro  $d_{bw} = 8$  mm.
- Il passo  $s$  delle staffe non deve superare il minimo tra i seguenti valori:

$$s = \min \left\{ \frac{d}{4}; 225; 8 \cdot d_{bL}; 24 \cdot \phi_{staffe} \right\}$$

dove:

$b, h$  sono le dimensioni della sezione trasversale della trave

$d_{bL}$  è il diametro minimo delle barre longitudinali.

La prima staffa, non sarà posizionata a più di 50 mm dalla sezione di estremità della trave.

### 11.1.7 Armatura a taglio in zona critica

Il calcolo e la verifica della resistenza a taglio devono essere eseguiti in accordo con le NTC2018. Nelle zone critiche di travi sismiche primarie, l'inclinazione  $\theta$  del puntone nel modello a traliccio è variabile tra  $1 < \text{ctg}\theta < 2.5$ .

$$V_{Rd,s} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha \quad [\text{NTC2018-}\S 4.1.2.1.3.2]$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c f'_{cd} \cdot \frac{\cot \alpha + \cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rdc})$$

dove

$A_{sw}$  è l'area dell'armatura a taglio nella spaziatura  $s$ ;

$s$  è la spaziatura tra le staffe;

$d$  è l'altezza utile della sezione;

$\alpha$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave ( $90^\circ$ )

$\theta$  è l'angolo variabile tra il puntone compresso di calcestruzzo e l'asse della trave perpendicolare alla forza di taglio.

### 11.1.8 Armatura a taglio nelle rimanenti zone della trave

Considerando l'espressione per il calcolo della resistenza dell'elemento con armatura a taglio, ponendo  $V_{Rd,s}$  pari al taglio sollecitante in corrispondenza della fine della zona critica, è possibile trovare il passo massimo delle staffe in zona non critica.

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Sd}} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

dove:

$A_{sw}$  è l'area dell'armatura a taglio nella spaziatura  $s$ ;

$V_{Sd}$  è il massimo taglio sollecitante in corrispondenza della sezione alla fine della zona critica;

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nel tabulato di VERIFICHE DI DUTTILITA' ASTE IN C.A. - TRAVI ELEVAZIONE.

<b>Filo Iniziale</b>	: Numero del filo iniziale
<b>Filo Finale</b>	: Numero del filo finale
<b>Quota Iniziale</b>	: Altezza del nodo iniziale
<b>Quota Finale</b>	: Altezza del nodo finale
<b>Tratto</b>	: Numero della suddivisione dell'elemento. Se l'elemento è unico, ovvero non suddiviso in più tratti, la colonna è bianca
<b>Sez.</b>	: Numero della sezione in archivio
<b>Bas</b>	: Base della sezione
<b>Alt</b>	: Altezza della sezione
<b>gRd</b>	: Coefficiente di amplificazione dei momenti resistenti per il calcolo del taglio di progetto
<b>Passo</b>	: Passo staffe
<b>Lun</b>	: Lunghezza del tratto da staffare
<b>Travi</b>	
<b>G</b>	: carichi permanenti distribuiti
<b>g+s*q</b>	: carichi permanenti più aliquota sismica dei carichi variabili distribuiti

**PROGETTO DEFINITIVO**  
 Relazione di calcolo

COMMESSA IV01    LOTTO 00    CODIFICA D 26 CL    DOCUMENTO FA0202 001    REV. A    FOGLIO 63 di 104

**Concio** : i = iniziale; c = campata; f = finale  
**MRu+, MRu-** : Momenti resistenti positivi e negativi  
**x/d** : posizione adimensionalizzata dell'asse neutro  
**Vmax, Vmin** : Valore massimo e minimo del taglio di progetto  
**VRcd** : Taglio resistente del calcestruzzo  
**VRsd** : Taglio resistente dell'acciaio  
**SovrRes** : Taglio di sovra resistenza calcolato in base ai momenti resistenti della trave  
**con q=1** : Taglio calcolato utilizzando lo spettro elastico ovvero con q=1  
**Limite** : Segnala quale taglio e' stato utilizzato come limite massimo per la verifica:  
     Svr -> La verifica e' effettuata sempre con il taglio di sovra resistenza  
     Q=1 -> Se il taglio di sovra resistenza supera il taglio con lo spettro elastico (q=1) la verifica e' effettuata con il taglio calcolato con lo spettro elastico

**VERIFICHE IN CAPACITA' ASTE IN C.A. - TRAVI ELEVAZIONE**

Filo Iniz. N.ro	Quota Iniz. Final (m)	Tr at to Nr	Sez Bas Alt cm	CARICHI			MOMENTI RESISTENTI				TAGLIO PROGETTO		VERIFICA A TAGLIO			VALORI DEL TAGLIO		
				g (t/m)	g+s*q (t/m)	Co nc	MRu+ (t*m)	x/d	MRu- (t*m)	x/d	Vmax (t)	Vmin (t)	VRcd (t)	VRsd (t)	Staffe Pas Lu	SovrRes (t)	con q=1	Lim ite
19	4.14	7	2.78	2.78	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	11.80	0.22	60.33	36.37	13	65	15.51	11.80	q
20	4.14	40			c					10.13	-10.13	60.33	29.55	16	302	13.84	10.13	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.22	-11.80	60.33	36.37	13	65	15.51	11.80	1
20	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.71	0.73	60.33	36.37	13	65	15.48	10.71	q
25	4.14	40			c					9.07	-9.07	60.33	29.55	16	290	13.85	9.07	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.73	-10.71	60.33	36.37	13	65	15.48	10.71	1
25	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.96	0.47	60.33	36.37	13	65	15.48	10.96	q
27	4.14	40			c					9.33	-9.33	60.33	29.55	16	290	13.85	9.33	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.47	-10.96	60.33	36.37	13	65	15.48	10.96	1
27	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.91	0.52	60.33	36.37	13	65	15.48	10.91	q
29	4.14	40			c					9.28	-9.28	60.33	29.55	16	290	13.85	9.28	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.52	-10.91	60.33	36.37	13	65	15.48	10.91	1
29	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.91	0.52	60.33	36.37	13	65	15.48	10.91	q
31	4.14	40			c					9.28	-9.28	60.33	29.55	16	290	13.85	9.28	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.52	-10.91	60.33	36.37	13	65	15.48	10.91	1
31	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.97	0.46	60.33	36.37	13	65	15.48	10.97	q
33	4.14	40			c					9.34	-9.34	60.33	29.55	16	290	13.85	9.34	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.46	-10.97	60.33	36.37	13	65	15.48	10.97	1
33	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.70	0.73	60.33	36.37	13	65	15.48	10.70	q
35	4.14	40			c					9.07	-9.07	60.33	29.55	16	290	13.85	9.07	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.73	-10.70	60.33	36.37	13	65	15.48	10.70	1
35	4.14	7	2.78	2.78	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	11.77	0.07	60.33	36.37	13	65	15.57	11.77	q
22	4.14	40			c					10.09	-10.09	60.33	29.55	16	295	13.90	10.09	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.07	-11.77	60.33	36.37	13	65	15.57	11.77	1
21	4.14	7	2.78	2.78	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	11.80	0.22	60.33	36.37	13	65	15.51	11.80	q
24	4.14	40			c					10.13	-10.13	60.33	29.55	16	302	13.84	10.13	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.22	-11.80	60.33	36.37	13	65	15.51	11.80	1
24	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.71	0.73	60.33	36.37	13	65	15.48	10.71	q
26	4.14	40			c					9.07	-9.07	60.33	29.55	16	290	13.85	9.07	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.73	-10.71	60.33	36.37	13	65	15.48	10.71	1
26	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.96	0.47	60.33	36.37	13	65	15.48	10.96	q
28	4.14	40			c					9.33	-9.33	60.33	29.55	16	290	13.85	9.33	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.47	-10.96	60.33	36.37	13	65	15.48	10.96	1
28	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.91	0.52	60.33	36.37	13	65	15.48	10.91	q
30	4.14	40			c					9.28	-9.28	60.33	29.55	16	290	13.85	9.28	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.52	-10.91	60.33	36.37	13	65	15.48	10.91	1
30	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.91	0.52	60.33	36.37	13	65	15.48	10.91	q
32	4.14	40			c					9.28	-9.28	60.33	29.55	16	290	13.85	9.28	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.52	-10.91	60.33	36.37	13	65	15.48	10.91	1

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Relazione di calcolo**

COMMESSA IV01    LOTTO 00    CODIFICA D 26 CL    DOCUMENTO FA0202 001    REV. A    FOGLIO 64 di 104

VERIFICHE IN CAPACITA' ASTE IN C.A. - TRAVI ELEVAZIONE																		
Filo Iniz. Fin. N.ro	Quota Iniz. Final (m)	Tratto Nr	Sez Bas Alt cm	CARICHI			MOMENTI RESISTENTI				TAGLIO PROGETTO		VERIFICA A TAGLIO				VALORI DEL TAGLIO	
				g (t/m)	g+s*q (t/m)	Co nc	Mru+ (t*m)	x/d	Mru- (t*m)	x/d	Vmax (t)	Vmin (t)	VRcd (t)	VRsd (t)	Staffe Pas Lu	SovrRes (t)	con q=1 (t)	Lim ite
32	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.97	0.46	60.33	36.37	13	65	15.48	10.97	q
34	4.14	40			c					9.34	-9.34	60.33	29.55	16	290	13.85	9.34	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.46	-10.97	60.33	36.37	13	65	15.48	10.97	1
34	4.14	7	2.72	2.72	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	10.70	0.73	60.33	36.37	13	65	15.48	10.70	q
36	4.14	40			c					9.07	-9.07	60.33	29.55	16	290	13.85	9.07	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.73	-10.70	60.33	36.37	13	65	15.48	10.70	1
36	4.14	7	2.78	2.78	i	18.64	0.14	-18.64	0.14	11.77	0.07	60.33	36.37	13	65	15.57	11.77	q
23	4.14	40			c					10.09	-10.09	60.33	29.55	16	295	13.90	10.09	=
	gRd=	1.1	60		f	18.64	0.14	-18.64	0.14	-0.07	-11.77	60.33	36.37	13	65	15.57	11.77	1
21	4.14	7	1.28	1.28	i	18.62	0.13	-24.65	0.16	12.43	-5.73	60.33	36.37	13	65	12.43	15.66	q
19	4.14	40			c					11.67	-11.67	60.33	29.55	16	394	11.67	14.90	=
	gRd=	1.1	60		f	18.62	0.13	-24.65	0.16	5.73	-12.43	60.33	36.37	13	65	12.43	15.66	1
23	4.14	7	1.28	1.28	i	18.62	0.13	-24.65	0.16	12.43	-5.73	60.33	36.37	13	65	12.43	15.61	q
22	4.14	40			c					11.67	-11.67	60.33	29.55	16	394	11.67	14.84	=
	gRd=	1.1	60		f	18.62	0.13	-24.65	0.16	5.73	-12.43	60.33	36.37	13	65	12.43	15.61	1
36	4.14	26	0.31	0.31	i	4.59	0.26	-4.59	0.26	2.61	-0.73	26.26	41.16	4	28	2.61	2.83	q
35	4.14	50			c					2.54	-2.54	26.26	12.66	13	548	2.54	2.76	=
	gRd=	1.1	25		f	4.59	0.26	-4.59	0.26	0.73	-2.61	26.26	41.16	4	28	2.61	2.83	1
24	4.14	26	0.31	0.31	i	4.59	0.26	-4.59	0.26	2.61	-0.73	26.26	41.16	4	28	2.61	2.85	q
20	4.14	50			c					2.54	-2.54	26.26	12.66	13	548	2.54	2.78	=
	gRd=	1.1	25		f	4.59	0.26	-4.59	0.26	0.73	-2.61	26.26	41.16	4	28	2.61	2.85	1
26	4.14	26	0.31	0.31	i	4.59	0.26	-4.59	0.26	2.61	-0.73	26.26	41.16	4	28	2.61	3.20	q
25	4.14	50			c					2.54	-2.54	26.26	12.66	13	548	2.54	3.13	=
	gRd=	1.1	25		f	4.59	0.26	-4.59	0.26	0.73	-2.61	26.26	41.16	4	28	2.61	3.20	1
28	4.14	26	0.31	0.31	i	4.59	0.26	-4.59	0.26	2.61	-0.73	26.26	41.16	4	28	2.61	3.27	q
27	4.14	50			c					2.54	-2.54	26.26	12.66	13	548	2.54	3.19	=
	gRd=	1.1	25		f	4.59	0.26	-4.59	0.26	0.73	-2.61	26.26	41.16	4	28	2.61	3.27	1
30	4.14	26	0.31	0.31	i	4.59	0.26	-4.59	0.26	2.61	-0.73	26.26	41.16	4	28	2.61	3.27	q
29	4.14	50			c					2.54	-2.54	26.26	12.66	13	548	2.54	3.19	=
	gRd=	1.1	25		f	4.59	0.26	-4.59	0.26	0.73	-2.61	26.26	41.16	4	28	2.61	3.27	1
32	4.14	26	0.31	0.31	i	4.59	0.26	-4.59	0.26	2.61	-0.73	26.26	41.16	4	28	2.61	3.26	q
31	4.14	50			c					2.54	-2.54	26.26	12.66	13	548	2.54	3.19	=
	gRd=	1.1	25		f	4.59	0.26	-4.59	0.26	0.73	-2.61	26.26	41.16	4	28	2.61	3.26	1
34	4.14	26	0.31	0.31	i	4.59	0.26	-4.59	0.26	2.61	-0.73	26.26	41.16	4	28	2.61	3.19	q
33	4.14	50			c					2.54	-2.54	26.26	12.66	13	548	2.54	3.12	=
	gRd=	1.1	25		f	4.59	0.26	-4.59	0.26	0.73	-2.61	26.26	41.16	4	28	2.61	3.19	1

### 11.1.9 Verifiche allo S.L.E.

Definiti i quantitativi di armatura il programma esegue le verifiche SLE alle tensioni ed a fessurazioni in ragione dei limiti imposti al par. 4.2.2.

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nelle tabelle di verifica aste in cls per gli stati limiti di esercizio.

- Filo** : Sulla prima riga numero del filo del nodo iniziale, sulla seconda quello del nodo finale
- Quota** : Sulla prima riga quota del nodo iniziale, sulla seconda quota del nodo finale
- Tratto** : Se una trave è suddivisa in più tratti sulla prima riga è riportato il numero del tratto, sulla terza il numero di suddivisioni della trave
- Com Cari** : Indicatore della matrice di combinazione; la prima riga individua la matrice delle combinazioni rare, la seconda la matrice delle



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Relazione di calcolo**

COMMESSA IV01    LOTTO 00    CODIFICA D 26 CL    DOCUMENTO FA0202 001    REV. A    FOGLIO 65 di 104

	<i>combinazioni frequenti, la terza quella permanenti. Questo indicatore vale sia per la verifica a fessurazione che per il calcolo delle frecce</i>
<b>Fessu</b>	: Fessura limite e fessura di calcolo espressa in mm; se la trave non risulta fessurata l'ampiezza di calcolo sarà nulla
<b>Dist mm</b>	: Distanza fra le fessure
<b>Concio</b>	: Numero del concio in cui si è avuta la massima fessura
<b>Combin</b>	: Numero della combinazione ed in sequenza sollecitazioni per cui si è avuta la massima fessura
<b>Mf X</b>	: Momento flettente asse vettore X
<b>Mf Y</b>	: Momento flettente asse vettore Y
<b>N</b>	: Sforzo normale
<b>Frecce</b>	: Freccia limite e freccia massima di calcolo
<b>Combin</b>	: Numero della combinazione che ha prodotto la freccia massima
<b>Com Cari</b>	: Indicatore della matrice di combinazione; la prima riga individua la matrice delle combinazioni rare per la verifica della tensione sul calcestruzzo, la seconda la matrice delle combinazioni rare per la verifica della tensione sull'acciaio, la terza la matrice delle combinazioni permanenti per la verifica della tensione sul calcestruzzo
<b>σ<sub>lim</sub></b>	: Valore della tensione limite in Kg/cm <sup>2</sup>
<b>σ<sub>cal</sub></b>	: Valore della tensione di calcolo in Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Concio</b>	: Numero del concio in cui si è avuta la massima tensione
<b>Combin</b>	: Numero della combinazione ed in sequenza sollecitazioni per cui si è avuta la massima tensione
<b>Mf X</b>	: Momento flettente asse vettore X
<b>Mf Y</b>	: Momento flettente asse vettore Y
<b>N</b>	: Sforzo normale

STAMPA VERIFICHE S.L.E. ELEVAZIONE																					
		FESSURAZIONE										FRECCHE		TENSIONI							
Filo	Quota	Tra	Combi	Fessu.	mm	dist	Con	Com	Mf X	Mf Y	N	Frecce mm	Com	Combinaz	σ lim.	σ cal.	Co	Comb	Mf X	Mf Y	N
In fi	In Fi	tto	Caric	lim	cal	mm	cio	bin	(t*m)	(t*m)	(t)	limite calc	bin	Carico	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	nc		(t*m)	(t*m)	(t)
19	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	6	-9.7	0.0	0.5			Rara cls	176.0	76.6	5	6	-9.7	0.0	0.5
20	4.14		Freq											Rara fer	3375	2100	5	6	-9.7	0.0	0.5
			Perm											Perm cls	128.0	56.1	5	1	-7.0	0.0	0.0
20	4.14		Rara	0.2	0.000	0	1	3	-7.1	0.0	-1.0			Rara cls	176.0	56.7	1	3	-7.1	0.0	-1.0
25	4.14		Freq											Rara fer	3375	1462	1	3	-7.1	0.0	-1.0
			Perm											Perm cls	128.0	38.0	1	1	-4.7	0.0	0.0
25	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	6	-6.0	0.0	1.5			Rara cls	176.0	48.1	5	6	-6.0	0.0	1.5
27	4.14		Freq											Rara fer	3375	1352	5	6	-6.0	0.0	1.5
			Perm											Perm cls	128.0	33.5	5	1	-4.1	0.0	0.0
27	4.14		Rara	0.2	0.000	0	1	3	-5.7	0.0	-1.7			Rara cls	176.0	46.2	1	3	-5.7	0.0	-1.7
29	4.14		Freq											Rara fer	3375	1273	5	6	-5.6	0.0	1.7
			Perm											Perm cls	128.0	33.0	1	1	-4.1	0.0	0.0
29	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	3	-5.7	0.0	-1.7			Rara cls	176.0	46.2	5	3	-5.7	0.0	-1.7
31	4.14		Freq											Rara fer	3375	1273	1	6	-5.6	0.0	1.7
			Perm											Perm cls	128.0	33.0	5	1	-4.1	0.0	0.0
31	4.14		Rara	0.2	0.000	0	1	6	-6.0	0.0	1.5			Rara cls	176.0	48.0	1	6	-6.0	0.0	1.5
33	4.14		Freq											Rara fer	3375	1350	1	6	-6.0	0.0	1.5
			Perm											Perm cls	128.0	33.4	1	1	-4.1	0.0	0.0
33	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	3	-7.0	0.0	-1.0			Rara cls	176.0	55.9	5	3	-7.0	0.0	-1.0
35	4.14		Freq											Rara fer	3375	1440	5	3	-7.0	0.0	-1.0
			Perm											Perm cls	128.0	37.4	5	1	-4.6	0.0	0.0
35	4.14		Rara	0.2	0.000	0	1	6	-9.5	0.0	0.5			Rara cls	176.0	75.2	1	6	-9.5	0.0	0.5
22	4.14		Freq											Rara fer	3375	2060	1	6	-9.5	0.0	0.5
			Perm											Perm cls	128.0	55.0	1	1	-6.9	0.0	0.0
21	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	6	-9.7	0.0	0.5			Rara cls	176.0	76.6	5	6	-9.7	0.0	0.5
24	4.14		Freq											Rara fer	3375	2100	5	6	-9.7	0.0	0.5
			Perm											Perm cls	128.0	56.1	5	1	-7.0	0.0	0.0
24	4.14		Rara	0.2	0.000	0	1	3	-7.1	0.0	-1.0			Rara cls	176.0	56.7	1	3	-7.1	0.0	-1.0
26	4.14		Freq											Rara fer	3375	1462	1	3	-7.1	0.0	-1.0
			Perm											Perm cls	128.0	38.0	1	1	-4.7	0.0	0.0

STAMPA VERIFICHE S.L.E. ELEVAZIONE																				
			FESSURAZIONE									FRECCHE			TENSIONI					
Filo	Quota	Tra	Combi	Fessu.	dist	Con	Com	Mf X	Mf Y	N	Frecc	Com	Combinaz	$\sigma$ lim.	$\sigma$ cal.	Co	Comb	Mf X	Mf Y	N
In fi	In Fi	tto	Caric	lim cal	mm	cio	bin	(t*m)	(t*m)	(t)	mm	bin	Carico	Kg/cmq	Kg/cmq	nc		(t*m)	(t*m)	(t)
											limite calc									
26	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	6	-6.0	0.0			Rara cls	176.0	48.1	5	6	-6.0	0.0	1.5
28	4.14		Freq										Rara fer	3375	1352	5	6	-6.0	0.0	1.5
			Perm										Perm cls	128.0	33.5	5	1	-4.1	0.0	0.0
28	4.14		Rara	0.2	0.000	0	1	3	-5.7	0.0			Rara cls	176.0	46.2	1	3	-5.7	0.0	-1.7
30	4.14		Freq										Rara fer	3375	1273	5	6	-5.6	0.0	1.7
			Perm										Perm cls	128.0	33.0	1	1	-4.1	0.0	0.0
30	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	3	-5.7	0.0			Rara cls	176.0	46.2	5	3	-5.7	0.0	-1.7
32	4.14		Freq										Rara fer	3375	1273	1	6	-5.6	0.0	1.7
			Perm										Perm cls	128.0	33.0	5	1	-4.1	0.0	0.0
32	4.14		Rara	0.2	0.000	0	1	6	-6.0	0.0			Rara cls	176.0	48.0	1	6	-6.0	0.0	1.5
34	4.14		Freq										Rara fer	3375	1350	1	6	-6.0	0.0	1.5
			Perm										Perm cls	128.0	33.4	1	1	-4.1	0.0	0.0
34	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	3	-7.0	0.0			Rara cls	176.0	55.9	5	3	-7.0	0.0	-1.0
36	4.14		Freq										Rara fer	3375	1440	5	3	-7.0	0.0	-1.0
			Perm										Perm cls	128.0	37.4	5	1	-4.6	0.0	0.0
36	4.14		Rara	0.2	0.000	0	1	6	-9.5	0.0			Rara cls	176.0	75.2	1	6	-9.5	0.0	0.5
23	4.14		Freq										Rara fer	3375	2060	1	6	-9.5	0.0	0.5
			Perm										Perm cls	128.0	55.0	1	1	-6.9	0.0	0.0
21	4.14		Rara	0.2	0.000	0	3	6	2.8	0.0			Rara cls	176.0	23.0	3	6	2.8	0.0	0.0
19	4.14		Freq										Rara fer	3375	603	3	6	2.8	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	128.0	17.9	3	1	2.2	0.0	0.0
23	4.14		Rara	0.2	0.000	0	3	6	2.8	0.0			Rara cls	176.0	23.0	3	6	2.8	0.0	0.0
22	4.14		Freq										Rara fer	3375	603	3	6	2.8	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	128.0	18.0	3	1	2.2	0.0	0.0
36	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	5	-0.8	0.0			Rara cls	176.0	40.7	5	5	-0.8	0.0	0.0
35	4.14		Freq										Rara fer	3375	759	5	5	-0.8	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	128.0	39.7	5	1	-0.8	0.0	0.0
24	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	5	-0.8	0.0			Rara cls	176.0	40.7	5	5	-0.8	0.0	0.0
20	4.14		Freq										Rara fer	3375	759	5	5	-0.8	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	128.0	39.7	5	1	-0.8	0.0	0.0
26	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	5	-0.8	0.0			Rara cls	176.0	40.8	5	5	-0.8	0.0	0.0
25	4.14		Freq										Rara fer	3375	760	5	5	-0.8	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	128.0	39.8	5	1	-0.8	0.0	0.0
28	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	5	-0.8	0.0			Rara cls	176.0	40.8	5	5	-0.8	0.0	0.0
27	4.14		Freq										Rara fer	3375	761	5	5	-0.8	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	128.0	39.9	5	1	-0.8	0.0	0.0
30	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	5	-0.8	0.0			Rara cls	176.0	40.8	5	5	-0.8	0.0	0.0
29	4.14		Freq										Rara fer	3375	761	5	5	-0.8	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	128.0	39.9	5	1	-0.8	0.0	0.0
32	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	5	-0.8	0.0			Rara cls	176.0	40.8	5	5	-0.8	0.0	0.0
31	4.14		Freq										Rara fer	3375	761	5	5	-0.8	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	128.0	39.9	5	1	-0.8	0.0	0.0
34	4.14		Rara	0.2	0.000	0	5	5	-0.8	0.0			Rara cls	176.0	40.8	5	5	-0.8	0.0	0.0
33	4.14		Freq										Rara fer	3375	760	5	5	-0.8	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	128.0	39.8	5	1	-0.8	0.0	0.0

## 11.2 Verifica Pilastrri

### 11.2.1 Geometria e limiti dimensionali

I pilastrri presentano una sezione rettangolare con le caratteristiche geometriche riportate negli elaborati grafici. La dimensione minima della sezione trasversale di una colonna sismica primaria risulta sempre superiore al valore minimo 250 mm, [p.to 7.4.6.1.1 della NTC2018].

### 11.2.2 Azioni di progetto e resistenze

I valori di progetto dei momenti flettenti e delle forze assiali devono essere ottenuti dall'analisi della struttura per la situazione sismica di progetto, tenendo conto dei requisiti del criterio della capacità, [par. 7.4.4.2].

La resistenza a flessione e a taglio viene calcolata come specificato nella normativa al par. 7.4.4.2.1.

### 11.2.3 Resistenza a compressione

Nelle colonne sismiche primarie il valore dell'azione assiale normalizzata  $v_d$  deve soddisfare la seguente relazione:

$$v_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} \leq 0,65 \quad [\text{p.to 7.4.4.2.1}]$$

dove:

$N_{sd}$  è il valore di progetto dell'azione assiale

$A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo

### 11.2.4 Dettagli costruttivi per la duttilità locale

Il paragrafo 7.4.6.1.2 delle NTC2018 propongono delle prescrizioni sui dettagli costruttivi per la duttilità locale di colonne sismiche primarie.

#### 11.2.4.1 Definizione della lunghezza della zona critica

Le zone entro una distanza pari a  $l_{cr}$ , da entrambe le sezioni di estremità di una colonna sismica primaria devono essere considerate come zone critiche, [EC8 - 5.5.3.2.2(3)P].

La lunghezza della zona critica  $l_{cr}$  (in metri) può essere calcolata con la seguente espressione:

$$l_{cr} = \max\{h_c; l_{cl} / 6; 0,45\} [\text{m}] \quad [\text{p.to 7.4.6.2.1 della NTC2018}]$$

dove:

$h_c$  è la dimensione maggiore della sezione trasversale della colonna (in metri),

$l_{cl}$  è l'altezza netta della colonna (in metri).

#### 11.2.4.2 Disposizioni riguardanti le armature longitudinali

Il rapporto di armatura longitudinale totale  $\rho_l$ ; deve rispettare i seguenti limiti:

$$0,01 < \rho_l = \frac{A_s}{b_c h_c} < 0,04 \quad [\text{p.to 7.4.6.2.2 delle NTC2018}]$$

dove:

$A_s$  è l'area totale di armatura longitudinale;

$b_c$  è la dimensione minore della sezione trasversale della colonna;

$h_c$  è la dimensione maggiore della sezione trasversale della colonna;

#### 11.2.4.3 Disposizioni riguardanti le armature trasversali

Entro le regioni critiche di colonne sismiche primarie, devono essere predisposte staffe che rispondano ai seguenti requisiti:

- 1) Il diametro  $d_{bw}$  delle staffe non deve essere inferiore a 6 mm.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>						
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA IV01</td> <td>LOTTO 00</td> <td>CODIFICA D 26 CL</td> <td>DOCUMENTO FA0202 001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 68 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0202 001	REV. A	FOGLIO 68 di 104
COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0202 001	REV. A	FOGLIO 68 di 104		

2) Il quantitativo minimo delle staffe deve essere non inferiore a: (CDB)

$$\frac{A_{st}}{s} \geq 0,08 \frac{f_{cd} b_{st}}{f_{yd}}$$

dove  $A_{st}$  è l'area complessiva dei bracci delle staffe,  $b_{st}$  è la distanza tra i bracci più esterni ed  $s$  è il passo delle staffe.

3) Il passo  $s$  delle staffe non deve superare il minimo tra i seguenti valori:

$$s \leq \min\{b_0 / 2; 175; 8d_{bL}\} \quad [\text{EC8 - § 5.5.3.2.2(12) b}]$$

dove:

$b_0$  è il lato minore della sezione trasversale del pilastro,

$d_{bL}$  è il diametro delle barre longitudinali.

La distanza tra barre longitudinali consecutive contenute da staffe risulta non essere superiore a 200 mm, [DM 17/01/2018 p.to 7.4.6.2.2].

### 11.2.5 Verifica a presso-flessione

La verifica a presso-flessione deviata si effettua costruendo il dominio resistente, che è funzione dell'armatura disposta e cambia al variare dell'azione assiale, e verificando che le sollecitazioni siano interne al dominio.

**Trattandosi di una struttura in calce d'uso IV la verifica di resistenza è condotta sia allo SLU che allo SLD.**

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nelle tabelle di verifica aste in calcestruzzo per gli stati limite ultimi.

<b>Filo Iniz./Fin.</b>	: Sulla prima riga numero del filo del nodo iniziale, sulla seconda quello del nodo finale
<b>Cotg <math>\Theta</math></b>	: Cotangente Angolo del puntone compresso
<b>Quota</b>	: Sulla prima riga quota del nodo iniziale, sulla seconda quota del nodo finale
<b>SgmT</b>	: Solo per le travi di fondazione: Pressione di contatto sul terreno in Kg/cm <sup>2</sup> calcolata con i valori caratteristici delle azioni assumendo i coefficienti gamma pari ad uno.
<b>AmpC</b>	: Solo per le travi di elevazione: Coefficiente di amplificazione dei carichi statici per tenere in conto della verifica locale dell'asta a sisma verticale.
<b>N/Nc</b>	: Solo per i pilastri: Percentuale della resistenza massima a compressione della sezione di solo calcestruzzo.
<b>Tratto</b>	: Se una trave è suddivisa in più tratti sulla prima riga è riportato il numero del tratto, sulla terza il numero di suddivisioni della trave
<b>Sez B/H</b>	: Sulla prima riga numero della sezione nell'archivio, sulla seconda base della sezione, sulla terza altezza. Per sezioni a T è riportato l'ingombro massimo della sezione
<b>Concio</b>	: Numero del concio
<b>Co Nr</b>	: Numero della combinazione e in sequenza sollecitazioni ultime di calcolo che forniscono la massima deformazione nell'acciaio e nel calcestruzzo per la verifica a flessione
<b>GamRd</b>	: Solo per le travi di fondazione: Coefficiente di sovrarresistenza.
<b>M Exd</b>	: Momento ultimo di calcolo asse vettore X (per le travi incrementato dalla traslazione del diagramma del momento flettente)
<b>M Eyd</b>	: Momento ultimo di calcolo asse vettore Y

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Relazione di calcolo**

COMMESSA IV01      LOTTO 00      CODIFICA D 26 CL      DOCUMENTO FA0202 001      REV. A      FOGLIO 69 di 104

- N Ed** : Sforzo normale ultimo di calcolo
- x / d** : Rapporto fra la posizione dell'asse neutro e l'altezza utile della sezione moltiplicato per 100
- ef% ec% (\*100)** : deformazioni massime nell'acciaio e nel calcestruzzo moltiplicate per 10.000. Valore limite per l'acciaio 100 (1%), valore limite nel calcestruzzo 35 (0,35%)
- Area** : Area del ferro in centimetri quadri; per le travi rispettivamente superiore ed inferiore, per i pilastri armature lungo la base e l'altezza della sezione
- Co Nr** : Numero della combinazione e in sequenza sollecitazioni ultime di calcolo che forniscono la minore sicurezza per le azioni taglianti e torcenti
- V Exd** : Taglio ultimo di calcolo in direzione X
- V Eyd** : Taglio ultimo di calcolo in direzione Y
- T sdu** : Momento torcente ultimo di calcolo
- V Rxd** : Taglio resistente ultimo delle staffe in direzione X
- V Ryd** : Taglio resistente ultimo delle staffe in direzione Y
- T Rd** : Momento torcente resistente ultimo delle staffe
- T Rld** : Momento torcente resistente ultimo dell'armatura longitudinale
- Coe Cls** : Coefficiente per il controllo di sicurezza del calcestruzzo alle azioni taglianti e torcenti moltiplicato per 100; la sezione è verificata se detto valore e minore o uguale a 100
- Coe Staf** : Coefficiente per il controllo di sicurezza delle staffe alle azioni taglianti e torcenti moltiplicato per 100; la sezione è verificata se detto valore e minore o uguale a 100
- Alon** : Armatura longitudinale a torsione (nelle travi rettangolari per le quali è stata effettuata la verifica a momento My in questo dato viene stampata anche l'armatura flessionale dei lati verticali)
- Staffe** : Passo staffe e lunghezza del tratto da armare
- Moltip Ultimo** : Solo per le stampe di riverifica:  
Moltiplicatore dei carichi che porta a collasso la sezione. Il percorso dei carichi seguito e' a sforzo normale costante. Le deformazioni riportate sono determinate dalle sollecitazioni di calcolo amplificate del moltiplicatore in parola.

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - PILASTRI E TRAVI IN DEVIATA																										
Filo Iniz. Fin. Ctqg	Quota Iniz. Final N/C	T r a s e z Bas Alt	C o n c	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE										VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE												
				Co mb	M Exd (t*m)	M Eyd (t*m)	N Ed (t)	Molt Ult.	ef% 100	ec	Area cmq b h	Co mb	V Exd (t)	V Eyd (t)	T Sdu (t*m)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	TRd (t*m)	TRld (t*m)	Coe Cls	Coe Sta	ALon cmq	staffe Pas Lun Fi			
19	0.00	25	1	28	24.3	11.6	-14.3	1.72	55	35	12.6	15.7	40	4.5	-12.1	0.0	73.3	80.1	13.6	0.0	21	20	0.0	16	80	8
19	4.14	40	3	40	-13.8	-1.7	-7.3	4.14	83	35	12.6	15.7	40	4.5	-12.1	0.0	30.9	40.6	7.5	0.0	21	30	0.0	24	194	8
2.5	0.03	80	5	28	-17.6	-6.8	-11.5	2.61	57	35	12.6	15.7	40	4.5	-12.1	0.0	73.3	80.1	13.6	0.0	21	20	0.0	16	80	8
20	0.00	5	1	40	-9.4	-6.8	-13.1	1.55	57	35	9.4	9.4	12	-6.8	0.8	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	15	19	0.0	16	79	8
20	4.14	50	3	40	-5.4	-1.6	-12.4	3.07	70	35	9.4	9.4	12	-6.8	0.8	0.0	24.0	18.5	4.2	0.0	15	28	0.0	24	216	8
2.5	0.06	40	5	12	-1.6	-11.7	-16.0	1.91	81	35	9.4	9.4	12	-6.8	0.8	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	15	19	0.0	16	59	8
21	0.00	25	1	31	-24.3	11.6	-14.3	1.72	55	35	12.6	15.7	35	4.5	12.1	0.0	73.3	80.1	13.6	0.0	21	20	0.0	16	80	8
21	4.14	40	3	35	13.8	-1.7	-7.3	4.14	83	35	12.6	15.7	35	4.5	12.1	0.0	30.9	40.6	7.5	0.0	21	30	0.0	24	194	8
2.5	0.03	80	5	31	17.6	-6.8	-11.5	2.61	57	35	12.6	15.7	35	4.5	12.1	0.0	73.3	80.1	13.6	0.0	21	20	0.0	16	80	8
22	0.00	25	1	34	24.2	-11.5	-14.1	1.73	55	35	12.6	15.7	30	-4.5	-12.1	0.0	73.3	80.1	13.6	0.0	21	20	0.0	16	80	8
22	4.14	40	3	30	-13.7	1.7	-7.2	4.15	83	35	12.6	15.7	30	-4.5	-12.1	0.0	30.9	40.6	7.5	0.0	21	30	0.0	24	194	8
2.5	0.03	80	5	34	-17.5	6.8	-11.3	2.60	57	35	12.6	15.7	30	-4.5	-12.1	0.0	73.3	80.1	13.6	0.0	21	20	0.0	16	80	8
23	0.00	25	1	37	-24.2	-11.5	-14.1	1.73	55	35	12.6	15.7	25	-4.5	12.1	0.0	73.3	80.1	13.6	0.0	21	20	0.0	16	80	8
23	4.14	40	3	25	13.7	1.7	-7.2	4.15	83	35	12.6	15.7	25	-4.5	12.1	0.0	30.9	40.6	7.5	0.0	21	30	0.0	24	194	8
2.5	0.03	80	5	37	17.5	6.8	-11.3	2.60	57	35	12.6	15.7	25	-4.5	12.1	0.0	73.3	80.1	13.6	0.0	21	20	0.0	16	80	8
24	0.00	5	1	35	9.4	-6.8	-13.1	1.55	57	35	9.4	9.4	15	-6.8	-0.8	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	15	19	0.0	16	79	8
24	4.14	50	3	35	5.4	-1.6	-12.4	3.07	70	35	9.4	9.4	15	-6.8	-0.8	0.0	24.0	18.5	4.2	0.0	15	28	0.0	24	216	8
2.5	0.06	40	5	15	1.6	-11.7	-16.0	1.91	81	35	9.4	9.4	15	-6.8	-0.8	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	15	19	0.0	16	59	8
25	0.00	5	1	40	-10.5	-4.6	-13.2	1.52	65	35	9.4	9.4	12	-5.8	0.9	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	14	16	0.0	16	96	8
25	4.14	50	3	40	-5.9	-1.1	-12.5	2.81	81	35	9.4	9.4	12	-5.8	0.9	0.0	24.0	18.5	4.2	0.0	14	24	0.0	24	199	8
2.5	0.05	40	5	12	-1.6	-9.7	-13.2	2.24	78	35	9.4	9.4	12	-5.8	0.9	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	14	16	0.0	16	59	8
26	0.00	5	1	35	10.5	-4.6	-13.2	1.52	65	35	9.4	9.4	15	-5.8	-0.9	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	14	16	0.0	16	96	8
26	4.14	50	3	35	5.9	-1.1	-12.5	2.81	81	35	9.4	9.4	15	-5.8	-0.9	0.0	24.0	18.5	4.2	0.0	14	24	0.0	24	199	8
2.5	0.05	40	5	15	1.6	-9.7	-13.2	2.24	78	35	9.4	9.4	15	-5.8	-0.9	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	14	16	0.0	16	59	8
27	0.00	5	1	40	-10.5	-3.8	-13.6	1.56	67	35	9.4	9.4	12	-5.6	0.9	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	13	15	0.0	16	97	8
27	4.14	50	3	40	-5.9	-0.9	-12.8	2.83	85	35	9.4	9.4	12	-5.6	0.9	0.0	24.0	18.5	4.2	0.0	13	23	0.0	24	198	8
2.5	0.05	40	5	12	-1.6	-9.4	-13.5	2.31	77	35	9.4	9.4	12	-5.6	0.9	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	13	15	0.0	16	59	8
28	0.00	5	1	35	10.5	-3.8	-13.6	1.56	67	35	9.4	9.4	15	-5.6	-0.9	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	13	15	0.0	16	97	8

**RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA  
 TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**
**PROGETTO DEFINITIVO**  
 Relazione di calcolo

COMMESSA IV01      LOTTO 00      CODIFICA D 26 CL      DOCUMENTO FA0202 001      REV. A      FOGLIO 70 di 104

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - PILASTRI E TRAVI IN DEVIATA																										
Filo Fin. Ctgò	Quota Iniz. Final N/C	T r a s e z Bas Alt	C o n c	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE												VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE										
				Co mb	M Exd (t*m)	M Eyd (t*m)	N Ed (t)	Molt Ult.	ε% 100	εc	Area cmq b h	Co mb	V Exd (t)	V Eyd (t)	T Sdu (t*m)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	TRd (t*m)	TRld (t*m)	Coe CIs	Coe Sta	ALon cmq	staffe Pas Lun Fi			
28	4.14	50	3	35	5.9	-0.9	-12.8	2.83	85	35	9.4	9.4	15	-5.6	-0.9	0.0	24.0	18.5	4.2	0.0	13	23	0.0	24	198	8
2.5	0.05	40	5	15	1.6	-9.4	-13.5	2.31	77	35	9.4	9.4	15	-5.6	-0.9	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	13	15	0.0	16	59	8

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.D. - PILASTRI E TRAVI IN DEVIATA																										
Filo Fin. Ctgò	Quota Iniz. Final t	T r a s e z Bas Alt	C o n c	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE												VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE										
				Co mb	M Exd (t*m)	M Eyd (t*m)	N Ed (t)	Molt Ult.	ε% 100	εc	Area cmq b h	Co mb	V Exd (t)	V Eyd (t)	T Sdu (t*m)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	TRd (t*m)	TRld (t*m)	Coe CIs	Coe Sta	ALon cmq	staffe Pas Lun Fi			
19	0.00	25	1	28	9.9	6.5	-12.8	3.57	56	35	12.6	15.7	40	2.0	-5.9	0.0	73.3	80.1	13.6	0.0	10	10	0.0	16	80	8
19	4.14	40	3	40	-0.2	-8.2	-8.8	7.95	100	30	12.6	15.7	40	2.0	-5.9	0.0	30.9	40.6	7.5	0.0	10	14	0.0	24	194	8
2.5	0.05	80	5	28	-9.9	-3.0	-9.9	5.20	59	35	12.6	15.7	40	2.0	-5.9	0.0	73.3	80.1	13.6	0.0	10	10	0.0	16	80	8

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.D. - PILASTRI E TRAVI IN DEVIATA																								
Filo Iniz. Ctg	Quota Iniz. Final t	T r a	Sez Bas Alt	C o n c	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE										VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE									
					Co mb	M Exd (t*m)	M Eyd (t*m)	N Ed (t)	Molt Ult.	εf% 100	εc	Area cmq b h	Co mb	V Exd (t)	V Eyd (t)	T Sdu (t*m)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	TRd (t*m)	TRld (t*m)	Coe Cls	Coe Sta	ALon cmq	staffe Pas Lun Fi
2.5			40 5 18		-1.3	4.5	-13.3	4.70	65	35	9.4	9.4	18	2.7	0.4	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	6	7	0.0	16 59 8
32	0.00		5 1 25		5.7	1.8	-14.2	3.06	67	35	9.4	9.4	21	2.7	-0.4	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	6	7	0.0	16 97 8
32	4.14		50 3 25		3.4	0.4	-13.5	5.25	81	35	9.4	9.4	21	2.7	-0.4	0.0	24.0	18.5	4.2	0.0	6	11	0.0	24 198 8
2.5			40 5 21		1.3	4.5	-13.3	4.70	65	35	9.4	9.4	21	2.7	-0.4	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	6	7	0.0	16 59 8
33	0.00		5 1 30		-5.7	2.0	-14.0	3.01	66	35	9.4	9.4	18	2.9	0.4	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	7	8	0.0	16 96 8
33	4.14		50 3 30		-3.4	0.5	-13.3	5.23	80	35	9.4	9.4	18	2.9	0.4	0.0	24.0	18.5	4.2	0.0	7	12	0.0	24 199 8
2.5			40 5 18		-1.3	4.8	-13.0	4.48	66	35	9.4	9.4	18	2.9	0.4	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	7	8	0.0	16 59 8
34	0.00		5 1 25		5.7	2.0	-14.0	3.01	66	35	9.4	9.4	21	2.9	-0.4	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	7	8	0.0	16 96 8
34	4.14		50 3 25		3.4	0.5	-13.3	5.23	80	35	9.4	9.4	21	2.9	-0.4	0.0	24.0	18.5	4.2	0.0	7	12	0.0	24 199 8
2.5			40 5 21		1.3	4.8	-13.0	4.48	66	35	9.4	9.4	21	2.9	-0.4	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	7	8	0.0	16 59 8
35	0.00		5 1 30		-5.2	2.3	-14.9	3.22	62	35	9.4	9.4	18	3.8	0.3	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	8	11	0.0	16 79 8
35	4.14		50 3 30		-3.2	0.6	-14.2	5.61	73	35	9.4	9.4	18	3.8	0.3	0.0	24.0	18.5	4.2	0.0	8	16	0.0	24 216 8
2.5			40 5 18		-1.3	6.6	-15.4	3.44	70	35	9.4	9.4	18	3.8	0.3	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	8	11	0.0	16 59 8
36	0.00		5 1 25		5.2	2.3	-14.9	3.22	62	35	9.4	9.4	21	3.8	-0.3	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	8	11	0.0	16 79 8
36	4.14		50 3 25		3.2	0.6	-14.2	5.61	73	35	9.4	9.4	21	3.8	-0.3	0.0	24.0	18.5	4.2	0.0	8	16	0.0	24 216 8
2.5			40 5 21		1.3	6.6	-15.4	3.44	70	35	9.4	9.4	21	3.8	-0.3	0.0	36.1	27.8	6.3	0.0	8	11	0.0	16 59 8

### 11.2.6 Calcolo del taglio di progetto

In colonne sismiche primarie i valori di progetto dell'azione di taglio devono essere determinati in accordo con il criterio della capacità sulla base dell'equilibrio della colonna sotto l'azione dei momenti relativi alle sezioni di estremità  $M_{i,d}$  (dove  $i=1,2$  denota, le sezioni di estremità della colonna), che corrispondono alla formazione della cerniera plastica per le direzioni positive e negative dell'azione sismica.

$$V_{\max} = \gamma_{Rd} \frac{M^s_{i,d} + M^i_{i,d}}{l_{cl}}$$

I momenti di estremità  $M_{i,d}$  superiore ed inferiore sono stati determinati con la seguente espressione

$$M_{i,d} = M_{c,Rd} \cdot \min\left(1, \frac{\sum M_{b,Rd}}{\sum M_{c,Rd}}\right)$$

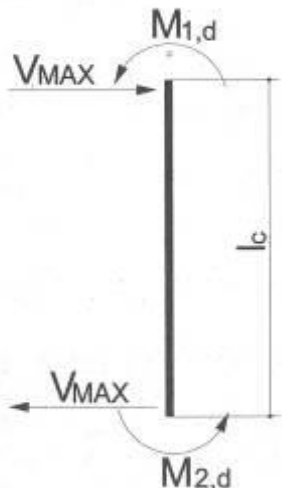
dove:

$\gamma_{Rd}$  è il coefficiente che tiene conto della sovraresistenza dovuta all'incrudimento dell'acciaio e al confinamento del calcestruzzo della zona compressa della sezione:

$$\gamma_{Rd} = 1,1;$$

$M_{c,Rd}$  è la capacità a flessione nella sezione di estremità (superiore o inferiore);

$l_{cl}$  è la lunghezza di calcolo della colonna



**Figura 31: Criterio della capacità per il calcolo del taglio sollecitante**

### 11.2.7 Verifica di resistenza a taglio in zona critica

La resistenza a taglio è stata calcolata come specificato nelle NTC2018, paragrafo 4.1.2.1.3.2. Si esegue il calcolo della resistenza dell'elemento con armatura trasversale a taglio nelle due direzioni x e y. Si confronta poi il valore della resistenza con il taglio sollecitante di progetto calcolato nelle due direzioni.

$$V_{Rd,s} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \quad [\text{NTC2018-}\S 4.1.2.1.3.2]$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c f'_{cd} \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rdc})$$

dove:

$A_{sw}$  è l'area efficace dell'armatura a taglio nella spaziatura  $s$ ;

$0.9d$  è il braccio della coppia interna,

$\alpha$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento ( $90^\circ$ )

$\theta$  è l'angolo variabile tra il puntone compresso di calcestruzzo e l'asse del pilastro perpendicolare alla forza di taglio. E' possibile determinare tale angolo graficamente riportando le funzioni  $V_{Rd,s}$  e  $V_{Rdc}$  in funzione di  $\theta$  per le due direzioni di taglio

$\alpha_c = 1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$

$f'_{cd}$  resistenza a compressione ridotta del cls d'anima =  $0.5 f_{cd}$

### 11.2.8 Verifiche in capacità pilastri e gerarchia Trave-colonna

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nel tabulato di stampa **VERIFICHE DI DUTTILITA' ASTE IN C.A. - PILASTRI e GERARCHIE TRAVE COLONNA**.

Filo Iniziale : Numero del filo iniziale  
 Filo Finale : Numero del filo finale



Quota Iniziale : Altezza del nodo iniziale  
 Quota Finale : Altezza del nodo finale  
 Tratto : Numero della suddivisione dell'elemento. Se l'elemento è unico, ovvero non suddiviso in più tratti, la colonna è bianca  
 Sez. : Numero della sezione in archivio  
 Bas : Base della sezione  
 Alt : Altezza della sezione  
 gRd : Coefficiente di amplificazione dei momenti resistenti per il calcolo del taglio di progetto  
 Passo : Passo staffe  
 Lun : Lunghezza del tratto da staffare

#### Pilastrì

Concio : i = iniziale; c = campata; f = finale  
 ax e ay : coefficienti di sovraresistenza del momento di verifica del pilastro in direzione X e Y  
 ax\*Mx, My, N : Sollecitazioni di progetto per il sisma in direzione X  
 Mx, ay\*My, N : Sollecitazioni di progetto per il sisma in direzione Y  
 MruX, MruY : Momenti resistenti del pilastro nelle due direzioni  
 Vx, Vy : Tagli di progetto calcolati dai momenti resistenti del pilastro, amplificati del coefficiente gRd. Al fine della verifica, i due tagli di progetto, vengono considerati agenti indipendentemente e vengono accoppiati con il taglio di calcolo in direzione ortogonale  
 V Rxd, VRyd : Taglio resistente in direzione X e Y. I tagli resistenti possono essere riferiti al cls o alle staffe in base a quale materiale ha il coefficiente di impegno maggiore  
 Limite : Segnala quale taglio e' stato utilizzato come limite massimo per la verifica:  
     Svr -> La verifica e' effettuata sempre con il taglio di sovra resistenza  
     Q=1 -> Se il taglio di sovra resistenza supera il taglio con lo spettro elastico (q=1) la verifica e' effettuata con il taglio calcolato con lo spettro elastico

#### Gerarchia Trave-Colonna

Nodo3d : Numero del nodo dove si effettua il controllo di gerarchia  
 Filo, Quota : Numero del filo e quota del nodo in esame  
 PilInf, PilSup : Numero del pilastro inferiore e superiore collegati al Nodo3d  
 TravX+; TravX- : Numero delle travi in direzione X collegate al Nodo3d  
 TravY+; TravY- : Numero delle travi in direzione Y collegate al Nodo3d  
 SMxc,pl,Rd : Sommatoria dei momenti plastici delle colonne in direzione X  
 gSMxb,pl,Rd : Sommatoria dei momenti plastici delle travi in direzione X amplificate del coefficiente di sovraresistenza  
 SMyc,pl,Rd : Sommatoria dei momenti plastici delle colonne in direzione Y  
 gSMyb,pl,Rd : Sommatoria dei momenti plastici delle travi in direzione Y amplificate del coefficiente di sovraresistenza  
 Flag Verifica : Flag di controllo (SMxc,pl,Rd > gSMxb,pl,Rd ; SMyc,pl,Rd > gSMyb,pl,Rd ) :  
     - "OK" = Gerarchia della resistenza soddisfatta  
     - "Elastico" = Colonna protetta dalla plasticizzazione anticipata in quanto

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Relazione di calcolo**

COMMESSA IV01    LOTTO 00    CODIFICA D 26 CL    DOCUMENTO FA0202 001    REV. A    FOGLIO 74 di 104

sovraresistente rispetto all'azione sismica elastica (q=1)

VERIFICHE IN CAPACITA' ASTE IN C.A. - PILASTRI																					
Filo Iniz. Fin. N.ro	Quota Iniz. Final (m)	Trat to Nr	Sez Bas Alt cm	SOVRARESIST. Co nc	αx	αy	SOLLECITAZIONI SISMA X			SOLLECITAZIONI SISMA Y			MOM. RESISTENTI		TAGLIO PROG.		TAGLIO RESISTENTE				
							αx*Mx (t*m)	My (t*m)	N (t)	Mx (t*m)	αy*My (t*m)	N (t)	Mrux (t*m)	Mruy (t*m)	Vx (t)	Vy (t)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	staffe PasLun	Li m.	
19	4.14	25	i	1.0	1.0	-17.56	-6.76	-11.47	11.97	7.86	-5.56	60.57	27.79	10.04	24.08	46.36	60.83	16	80	q	
19	0.00	40	c											10.04	24.08	30.91	40.55	24	194	=	
gRd=		1.1	80	f	1.0	1.0	-30.90	-8.12	-8.39	24.32	11.61	-14.30	-61.37	-28.18	10.04	24.08	46.36	60.83	16	80	1
20	4.14	5	i	1.0	1.0	-2.77	-5.84	-19.21	-1.56	-11.70	-15.97	17.65	23.01	12.39	5.64	36.07	27.82	16	59	q	
20	0.00	50	c											12.39	5.64	24.05	18.54	24	216	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	-9.41	-6.83	-13.07	1.28	12.21	-17.74	-17.89	-23.33	12.39	5.64	36.07	27.82	16	79	1
21	4.14	25	i	1.0	1.0	17.56	-6.76	-11.47	-11.97	7.86	-5.56	-60.57	27.79	10.04	24.08	46.36	60.83	16	80	q	
21	0.00	40	c											10.04	24.08	30.91	40.55	24	194	=	
gRd=		1.1	80	f	1.0	1.0	30.90	-8.12	-8.39	-24.32	11.61	-14.30	61.37	-28.18	10.04	24.08	46.36	60.83	16	80	1
22	4.14	25	i	1.0	1.0	-17.52	6.82	-11.28	11.90	-7.76	-5.53	60.52	-27.77	10.00	23.98	46.36	60.83	16	80	q	
22	0.00	40	c											10.00	23.98	30.91	40.55	24	194	=	
gRd=		1.1	80	f	1.0	1.0	-30.78	8.04	-8.36	24.23	-11.51	-14.12	-61.32	28.15	10.00	23.98	46.36	60.83	16	80	1
23	4.14	25	i	1.0	1.0	17.52	6.82	-11.28	-11.90	-7.76	-5.53	-60.52	-27.77	10.00	23.98	46.36	60.83	16	80	q	
23	0.00	40	c											10.00	23.98	30.91	40.55	24	194	=	
gRd=		1.1	80	f	1.0	1.0	30.78	8.04	-8.36	-24.23	-11.51	-14.12	61.32	28.15	10.00	23.98	46.36	60.83	16	80	1
24	4.14	5	i	1.0	1.0	2.77	-5.84	-19.21	1.56	-11.70	-15.97	-17.65	23.01	12.39	5.64	36.07	27.82	16	59	q	
24	0.00	50	c											12.39	5.64	24.05	18.54	24	216	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	9.41	-6.83	-13.07	-1.28	12.21	-17.74	17.89	-23.33	12.39	5.64	36.07	27.82	16	79	1
25	4.14	5	i	1.0	1.0	-3.00	0.51	-14.36	-1.64	-9.68	-13.18	16.98	-22.15	11.38	6.40	36.07	27.82	16	59	q	
25	0.00	50	c											11.38	6.40	24.05	18.54	24	199	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	-10.51	1.21	-13.12	1.61	10.77	-14.95	-17.23	22.46	11.38	6.40	36.07	27.82	16	96	1
26	4.14	5	i	1.0	1.0	3.00	0.51	-14.36	1.64	-9.68	-13.18	-16.98	-22.15	11.38	6.40	36.07	27.82	16	59	q	
26	0.00	50	c											11.38	6.40	24.05	18.54	24	199	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	10.51	1.21	-13.12	-1.61	10.77	-14.95	17.23	22.46	11.38	6.40	36.07	27.82	16	96	1
27	4.14	5	i	1.0	1.0	-2.99	-3.58	-14.36	-1.63	-9.40	-13.49	16.98	22.15	11.11	6.40	36.07	27.82	16	59	q	
27	0.00	50	c											11.11	6.40	24.05	18.54	24	198	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	-10.50	2.13	-13.57	1.60	10.30	-15.26	-17.23	-22.47	11.11	6.40	36.07	27.82	16	97	1
28	4.14	5	i	1.0	1.0	2.99	-3.58	-14.36	1.63	-9.40	-13.49	-16.98	22.15	11.11	6.40	36.07	27.82	16	59	q	
28	0.00	50	c											11.11	6.40	24.05	18.54	24	198	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	10.50	2.13	-13.57	-1.60	10.30	-15.26	17.23	-22.47	11.11	6.40	36.07	27.82	16	97	1
29	4.14	5	i	1.0	1.0	-2.93	3.34	-14.06	-1.60	-9.30	-13.28	16.94	22.10	11.03	6.21	36.07	27.82	16	59	q	
29	0.00	50	c											11.03	6.21	24.05	18.54	24	198	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	-10.23	-2.27	-13.62	1.49	10.23	-15.05	-17.18	-22.41	11.03	6.21	36.07	27.82	16	97	1
30	4.14	5	i	1.0	1.0	2.93	3.34	-14.06	1.60	-9.30	-13.28	-16.94	22.10	11.03	6.21	36.07	27.82	16	59	q	
30	0.00	50	c											11.03	6.21	24.05	18.54	24	198	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	10.23	-2.27	-13.62	-1.49	10.23	-15.05	17.18	-22.41	11.03	6.21	36.07	27.82	16	97	1
31	4.14	5	i	1.0	1.0	-2.99	3.55	-14.36	-1.63	9.39	-13.49	16.98	-22.15	11.10	6.39	36.07	27.82	16	59	q	
31	0.00	50	c											11.10	6.39	24.05	18.54	24	198	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	-10.48	-2.15	-13.56	1.60	-10.30	-15.26	-17.23	22.46	11.10	6.39	36.07	27.82	16	97	1
32	4.14	5	i	1.0	1.0	2.99	3.55	-14.36	1.63	9.39	-13.49	-16.98	-22.15	11.10	6.39	36.07	27.82	16	59	q	
32	0.00	50	c											11.10	6.39	24.05	18.54	24	198	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	10.48	-2.15	-13.56	-1.60	-10.30	-15.26	17.23	22.46	11.10	6.39	36.07	27.82	16	97	1
33	4.14	5	i	1.0	1.0	-2.99	-0.49	-14.41	-1.64	9.69	-13.21	16.99	22.16	11.38	6.38	36.07	27.82	16	59	q	
33	0.00	50	c											11.38	6.38	24.05	18.54	24	199	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	-10.47	-1.21	-13.13	1.60	-10.78	-14.98	-17.23	-22.47	11.38	6.38	36.07	27.82	16	96	1
34	4.14	5	i	1.0	1.0	2.99	-0.49	-14.41	1.64	9.69	-13.21	-16.99	22.16	11.38	6.38	36.07	27.82	16	59	q	
34	0.00	50	c											11.38	6.38	24.05	18.54	24	199	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	10.47	-1.21	-13.13	-1.60	-10.78	-14.98	17.23	-22.47	11.38	6.38	36.07	27.82	16	96	1
35	4.14	5	i	1.0	1.0	-2.75	5.80	-19.11	-1.55	11.62	-15.89	17.63	-22.99	12.34	5.58	36.07	27.82	16	59	q	
35	0.00	50	c											12.34	5.58	24.05	18.54	24	216	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	-9.33	6.85	-12.94	1.25	-12.16	-17.66	-17.91	23.31	12.34	5.58	36.07	27.82	16	79	1
36	4.14	5	i	1.0	1.0	2.75	5.80	-19.11	1.55	11.62	-15.89	-17.63	-22.99	12.34	5.58	36.07	27.82	16	59	q	
36	0.00	50	c											12.34	5.58	24.05	18.54	24	216	=	
gRd=		1.1	40	f	1.0	1.0	9.33	6.85	-12.94	-1.25	-12.16	-17.66	17.91	23.31	12.34	5.58	36.07	27.82	16	79	1

VERIFICHE ASTE IN C.A. - PILASTRI																						
RIEPILOGO VERIFICHE A TAGLIO PILASTRI																						
Filo Iniz. Fin. Ctgθ	Quota Iniz. Final	Trat to	Sez Bas Alt cm	C omb in az	Tagli Analisi		Tagli Progetto		Tagli Resistenti Calcestruzzo			Tagli Resistenti Staffe			Staffe			Tagli con q=1		Tagli Sovra Resistenza		Li mi te
					Vx (t)	Vy (t)	Vx (t)	Vy (t)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	Coef	V Rxd (t)	V Ryd (t)	Coef	Pas cm	Lun cm	Fi mm	Vx (t)	Vy (t)	Vx (t)	Vy (t)	
19	4.14	25	1	40	4.5	-12.1	10.0	24.1	73.3	80.1	0.36	46.4	60.8	0.40	16	80	8	10.0	24.1	17.4	37.9	q

VERIFICHE ASTE IN C.A. - PILASTRI																							
RIEPILOGO VERIFICHE A TAGLIO PILASTRI																							
Filo Iniz. Fin. Ctgθ	Quota Iniz. Final	Tra	Sez Bas Alt cm	C o n c	C o m b in az	Tagli Analisi		Tagli Progetto		Tagli Resistenti Calcestruzzo			Tagli Resistenti Staffe			Staffe			Tagli con q = 1		Tagli Sovra Resistenza		Li mi te
						Vx (t)	Vy (t)	Vx (t)	Vy (t)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	Coef	V Rxd (t)	V Ryd (t)	Coef	Pas cm	Lun cm	Fi mm	Vx (t)	Vy (t)	Vx (t)	Vy (t)	
19	0.00		40	3	40	4.5	-12.1	10.0	24.1	73.3	80.1	0.36	30.9	40.6	0.59	24	194	8	10.0	24.1	17.4	37.9	=
2.50			80	5	40	4.5	-12.1	10.0	24.1	73.3	80.1	0.36	46.4	60.8	0.40	16	80	8	10.0	24.1	17.4	37.9	1
20	4.14		5	1	12	-6.8	0.8	12.4	5.6	50.0	48.2	0.26	36.1	27.8	0.34	16	59	8	12.4	5.6	14.4	11.0	q
20	0.00		50	3	12	-6.8	0.8	12.4	5.6	50.0	48.2	0.26	24.0	18.5	0.51	24	216	8	12.4	5.6	14.4	11.0	=
2.50			40	5	12	-6.8	0.8	12.4	5.6	50.0	48.2	0.26	36.1	27.8	0.34	16	79	8	12.4	5.6	14.4	11.0	1
21	4.14		25	1	35	4.5	12.1	10.0	24.1	73.3	80.1	0.36	46.4	60.8	0.40	16	80	8	10.0	24.1	17.4	37.9	q
21	0.00		40	3	35	4.5	12.1	10.0	24.1	73.3	80.1	0.36	30.9	40.6	0.59	24	194	8	10.0	24.1	17.4	37.9	=
2.50			80	5	35	4.5	12.1	10.0	24.1	73.3	80.1	0.36	46.4	60.8	0.40	16	80	8	10.0	24.1	17.4	37.9	1
22	4.14		25	1	30	-4.5	-12.1	10.0	24.0	73.3	80.1	0.36	46.4	60.8	0.39	16	80	8	10.0	24.0	17.4	37.9	q
22	0.00		40	3	30	-4.5	-12.1	10.0	24.0	73.3	80.1	0.36	30.9	40.6	0.59	24	194	8	10.0	24.0	17.4	37.9	=
2.50			80	5	30	-4.5	-12.1	10.0	24.0	73.3	80.1	0.36	46.4	60.8	0.39	16	80	8	10.0	24.0	17.4	37.9	1
23	4.14		25	1	25	-4.5	12.1	10.0	24.0	73.3	80.1	0.36	46.4	60.8	0.39	16	80	8	10.0	24.0	17.4	37.9	q
23	0.00		40	3	25	-4.5	12.1	10.0	24.0	73.3	80.1	0.36	30.9	40.6	0.59	24	194	8	10.0	24.0	17.4	37.9	=
2.50			80	5	25	-4.5	12.1	10.0	24.0	73.3	80.1	0.36	46.4	60.8	0.39	16	80	8	10.0	24.0	17.4	37.9	1
24	4.14		5	1	15	-6.8	-0.8	12.4	5.6	50.0	48.2	0.26	36.1	27.8	0.34	16	59	8	12.4	5.6	14.4	11.0	q
24	0.00		50	3	15	-6.8	-0.8	12.4	5.6	50.0	48.2	0.26	24.0	18.5	0.51	24	216	8	12.4	5.6	14.4	11.0	=
2.50			40	5	15	-6.8	-0.8	12.4	5.6	50.0	48.2	0.26	36.1	27.8	0.34	16	79	8	12.4	5.6	14.4	11.0	1
25	4.14		5	1	12	-5.8	0.9	11.4	6.4	49.4	47.6	0.25	36.1	27.8	0.31	16	59	8	11.4	6.4	13.9	10.6	q
25	0.00		50	3	12	-5.8	0.9	11.4	6.4	49.4	47.6	0.25	24.0	18.5	0.47	24	199	8	11.4	6.4	13.9	10.6	=
2.50			40	5	12	-5.8	0.9	11.4	6.4	49.4	47.6	0.25	36.1	27.8	0.31	16	96	8	11.4	6.4	13.9	10.6	1
26	4.14		5	1	15	-5.8	-0.9	11.4	6.4	49.4	47.6	0.25	36.1	27.8	0.31	16	59	8	11.4	6.4	13.9	10.6	q
26	0.00		50	3	15	-5.8	-0.9	11.4	6.4	49.4	47.6	0.25	24.0	18.5	0.47	24	199	8	11.4	6.4	13.9	10.6	=
2.50			40	5	15	-5.8	-0.9	11.4	6.4	49.4	47.6	0.25	36.1	27.8	0.31	16	96	8	11.4	6.4	13.9	10.6	1
27	4.14		5	1	12	-5.6	0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	59	8	11.1	6.4	13.9	10.6	q
27	0.00		50	3	12	-5.6	0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	24.0	18.5	0.46	24	198	8	11.1	6.4	13.9	10.6	=
2.50			40	5	12	-5.6	0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	97	8	11.1	6.4	13.9	10.6	1
28	4.14		5	1	15	-5.6	-0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	59	8	11.1	6.4	13.9	10.6	q
28	0.00		50	3	15	-5.6	-0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	24.0	18.5	0.46	24	198	8	11.1	6.4	13.9	10.6	=
2.50			40	5	15	-5.6	-0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	97	8	11.1	6.4	13.9	10.6	1
29	4.14		5	1	12	-5.5	0.9	11.0	6.2	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	59	8	11.0	6.2	13.8	10.6	q
29	0.00		50	3	12	-5.5	0.9	11.0	6.2	49.5	47.7	0.24	24.0	18.5	0.46	24	198	8	11.0	6.2	13.8	10.6	=
2.50			40	5	12	-5.5	0.9	11.0	6.2	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	97	8	11.0	6.2	13.8	10.6	1
30	4.14		5	1	9	-5.5	1.0	11.0	6.2	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	59	8	11.0	6.2	13.8	10.6	q
30	0.00		50	3	15	-5.5	-0.9	11.0	6.2	49.5	47.7	0.24	24.0	18.5	0.46	24	198	8	11.0	6.2	13.8	10.6	=
2.50			40	5	9	-5.5	1.0	11.0	6.2	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	97	8	11.0	6.2	13.8	10.6	1
31	4.14		5	1	18	5.6	0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	59	8	11.1	6.4	13.9	10.6	q
31	0.00		50	3	18	5.6	0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	24.0	18.5	0.46	24	198	8	11.1	6.4	13.9	10.6	=
2.50			40	5	18	5.6	0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	97	8	11.1	6.4	13.9	10.6	1
32	4.14		5	1	21	5.6	-0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	59	8	11.1	6.4	13.9	10.6	q
32	0.00		50	3	21	5.6	-0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	24.0	18.5	0.46	24	198	8	11.1	6.4	13.9	10.6	=
2.50			40	5	21	5.6	-0.9	11.1	6.4	49.5	47.7	0.24	36.1	27.8	0.31	16	97	8	11.1	6.4	13.9	10.6	1
33	4.14		5	1	18	5.8	0.9	11.4	6.4	49.4	47.7	0.25	36.1	27.8	0.31	16	59	8	11.4	6.4	13.9	10.6	q
33	0.00		50	3	18	5.8	0.9	11.4	6.4	49.4	47.7	0.25	24.0	18.5	0.47	24	199	8	11.4	6.4	13.9	10.6	=
2.50			40	5	18	5.8	0.9	11.4	6.4	49.4	47.7	0.25	36.1	27.8	0.31	16	96	8	11.4	6.4	13.9	10.6	1
34	4.14		5	1	21	5.8	-0.9	11.4	6.4	49.4	47.7	0.25	36.1	27.8	0.31	16	59	8	11.4	6.4	13.9	10.6	q
34	0.00		50	3	21	5.8	-0.9	11.4	6.4	49.4	47.7	0.25	24.0	18.5	0.47	24	199	8	11.4	6.4	13.9	10.6	=
2.50			40	5	21	5.8	-0.9	11.4	6.4	49.4	47.7	0.25	36.1	27.8	0.31	16	96	8	11.4	6.4	13.9	10.6	1
35	4.14		5	1	18	6.7	0.8	12.3	5.6	50.0	48.2	0.26	36.1	27.8	0.34	16	59	8	12.3	5.6	14.4	11.0	q
35	0.00		50	3	18	6.7	0.8	12.3	5.6	50.0	48.2	0.26	24.0	18.5	0.51	24	216	8	12.3	5.6	14.4	11.0	=
2.50			40	5	18	6.7	0.8	12.3	5.6	50.0	48.2	0.26	36.1	27.8	0.34	16	79	8	12.3	5.6	14.4	11.0	1
36	4.14		5	1	21	6.7	-0.8	12.3	5.6	50.0	48.2	0.26	36.1	27.8	0.34	16	59	8	12.3	5.6	14.4	11.0	q
36	0.00		50	3	21	6.7	-0.8	12.3	5.6	50.0	48.2	0.26	24.0	18.5	0.51	24	216	8	12.3	5.6	14.4	11.0	=
2.50			40	5	21	6.7	-0.8	12.3	5.6	50.0	48.2	0.26	36.1	27.8	0.34	16	79	8	12.3	5.6	14.4	11.0	1

Il taglio di progetto risulta essere quello per q=1 e quindi il taglio di progetto quello determinato dall'analisi elastica della struttura.

### 11.2.9 Verifica S.L.E. Pilastro

Una volta determinate le armature dei pilastri il programma di calcolo esegue le verifiche alle tensioni ed allo stato limite di fessurazione secondo i limiti del precedente par. 4.2.2.

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nelle tabelle di verifica aste in cls per gli stati limiti di esercizio.

<b>Filo</b>	: Sulla prima riga numero del filo del nodo iniziale, sulla seconda quello del nodo finale
<b>Quota</b>	: Sulla prima riga quota del nodo iniziale, sulla seconda quota del nodo finale
<b>Tratto</b>	: Se una trave è suddivisa in più tratti sulla prima riga è riportato il numero del tratto, sulla terza il numero di suddivisioni della trave
<b>Com Cari</b>	: Indicatore della matrice di combinazione; la prima riga individua la matrice delle combinazioni rare, la seconda la matrice delle combinazioni frequenti, la terza quella permanenti. Questo indicatore vale sia per la verifica a fessurazione che per il calcolo delle frecce
<b>Fessu</b>	: Fessura limite e fessura di calcolo espressa in mm; se la trave non risulta fessurata l'ampiezza di calcolo sarà nulla
<b>Dist mm</b>	: Distanza fra le fessure
<b>Concio</b>	: Numero del concio in cui si è avuta la massima fessura
<b>Combin</b>	: Numero della combinazione ed in sequenza sollecitazioni per cui si è avuta la massima fessura
<b>Mf X</b>	: Momento flettente asse vettore X
<b>Mf Y</b>	: Momento flettente asse vettore Y
<b>N</b>	: Sforzo normale
<b>Frecce</b>	: Freccia limite e freccia massima di calcolo
<b>Combin</b>	: Numero della combinazione che ha prodotto la freccia massima
<b>Com Cari</b>	: Indicatore della matrice di combinazione; la prima riga individua la matrice delle combinazioni rare per la verifica della tensione sul calcestruzzo, la seconda la matrice delle combinazioni rare per la verifica della tensione sull'acciaio, la terza la matrice delle combinazioni permanenti per la verifica della tensione sul calcestruzzo
<b><math>\sigma_{lim}</math></b>	: Valore della tensione limite in Kg/cm <sup>2</sup>
<b><math>\sigma_{cal}</math></b>	: Valore della tensione di calcolo in Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Concio</b>	: Numero del concio in cui si è avuta la massima tensione
<b>Combin</b>	: Numero della combinazione ed in sequenza sollecitazioni per cui si è avuta la massima tensione
<b>Mf X</b>	: Momento flettente asse vettore X
<b>Mf Y</b>	: Momento flettente asse vettore Y
<b>N</b>	: Sforzo normale

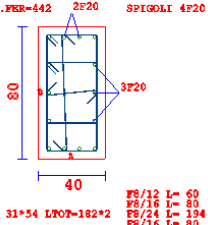
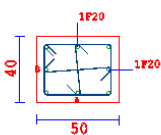
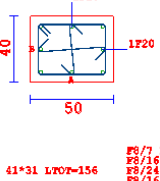
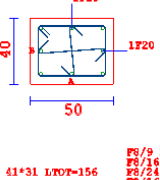
PILASTRI																				
FESSURAZIONE											FRECCIE		TENSIONI							
Filo	Quota	Tra	Combi	Fessu. mm	dist	Con	Com	Mf X	Mf Y	N	Frecce mm	Com	Combinaz	$\sigma_{lim}$	$\sigma_{cal}$	Co	Comb	Mf X	Mf Y	N
In fi	In Fi	tto	Caric	lim cal	mm	cio	bin	(t*m)	(t*m)	(t)	limite calc	bin	Carico	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	nc		(t*m)	(t*m)	(t)
19	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	6	-4.4	2.7	-14.3		Rara cls	165.0	44.2	5	8	-3.4	3.3	-11.3
19	0.00		Freq										Rara fer	3375	421	5	8	-3.4	3.3	-11.3
			Perm										Perm cls	120.0	27.1	5	1	-3.3	1.7	-11.3
20	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	8	-1.5	3.6	-18.0		Rara cls	165.0	55.6	5	8	-1.5	3.6	-18.0
20	0.00		Freq										Rara fer	3375	354	1	8	-1.0	-3.8	-16.3
			Perm										Perm cls	120.0	30.9	5	1	-1.3	1.8	-16.9
21	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	6	4.4	2.7	-14.3		Rara cls	165.0	44.2	5	8	3.4	3.3	-11.3
21	0.00		Freq										Rara fer	3375	421	5	8	3.4	3.3	-11.3

**PROGETTO DEFINITIVO**  
 Relazione di calcolo

COMMESSA IV01      LOTTO 00      CODIFICA D 26 CL      DOCUMENTO FA0202 001      REV. A      FOGLIO 77 di 104

PILASTRI																					
		FESSURAZIONE										FRECCHE		TENSIONI							
Filo	Quota	Tra	Combi	Fessu.	dist	Con	Com	Mf X	Mf Y	N	Frecce	Com	Combinaz	$\sigma$ lim.	$\sigma$ cal.	Co	Comb	Mf X	Mf Y	N	
In fi	In Fi	tto	Caric	lim cal	mm	cio	bin	(t*m)	(t*m)	(t)	mm	bin	Carico	Kg/cmq	Kg/cmq	nc		(t*m)	(t*m)	(t)	
			Perm										Perm cls	120.0	27.1	5	1	3.3	1.7	-11.3	
22	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	6	-4.4	-2.7	-14.2		Rara cls	165.0	44.0	5	8	-3.4	-3.3	-11.2	
22	0.00		Freq										Rara fer	3375	421	5	8	-3.4	-3.3	-11.2	
			Perm										Perm cls	120.0	27.0	5	1	-3.3	-1.7	-11.2	
23	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	6	4.4	-2.7	-14.2		Rara cls	165.0	44.0	5	8	3.4	-3.3	-11.2	
23	0.00		Freq										Rara fer	3375	421	5	8	3.4	-3.3	-11.2	
			Perm										Perm cls	120.0	27.0	5	1	3.3	-1.7	-11.2	
24	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	8	1.5	3.6	-18.0		Rara cls	165.0	55.6	5	8	1.5	3.6	-18.0	
24	0.00		Freq										Rara fer	3375	354	1	8	1.0	-3.8	-16.3	
			Perm										Perm cls	120.0	30.9	5	1	1.3	1.8	-16.9	
25	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	8	-1.5	1.7	-15.6		Rara cls	165.0	31.7	5	8	-1.5	1.7	-15.6	
25	0.00		Freq										Rara fer	3375	173	5	8	-1.5	1.7	-15.6	
			Perm										Perm cls	120.0	17.7	5	1	-1.2	0.4	-14.6	
26	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	8	1.5	1.7	-15.6		Rara cls	165.0	31.7	5	8	1.5	1.7	-15.6	
26	0.00		Freq										Rara fer	3375	173	5	8	1.5	1.7	-15.6	
			Perm										Perm cls	120.0	17.7	5	1	1.2	0.4	-14.6	
27	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	6	-1.7	0.4	-19.9		Rara cls	165.0	23.7	5	6	-1.7	0.4	-19.9	
27	0.00		Freq										Rara fer	3375	137	5	6	-1.7	0.4	-19.9	
			Perm										Perm cls	120.0	15.5	5	1	-1.2	0.0	-14.8	
28	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	6	1.7	0.4	-19.9		Rara cls	165.0	23.7	5	6	1.7	0.4	-19.9	
28	0.00		Freq										Rara fer	3375	137	5	6	1.7	0.4	-19.9	
			Perm										Perm cls	120.0	15.5	5	1	1.2	0.0	-14.8	
29	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	6	-1.7	0.0	-19.7		Rara cls	165.0	21.0	5	6	-1.7	0.0	-19.7	
29	0.00		Freq										Rara fer	3375	122	5	6	-1.7	0.0	-19.7	
			Perm										Perm cls	120.0	15.3	5	1	-1.2	0.0	-14.7	
30	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	6	1.7	0.0	-19.7		Rara cls	165.0	21.0	5	6	1.7	0.0	-19.7	
30	0.00		Freq										Rara fer	3375	122	5	6	1.7	0.0	-19.7	
			Perm										Perm cls	120.0	15.3	5	1	1.2	0.0	-14.7	
31	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	6	-1.7	-0.4	-19.8		Rara cls	165.0	23.7	5	6	-1.7	-0.4	-19.8	
31	0.00		Freq										Rara fer	3375	137	5	6	-1.7	-0.4	-19.8	
			Perm										Perm cls	120.0	15.4	5	1	-1.2	0.0	-14.8	
32	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	6	1.7	-0.4	-19.8		Rara cls	165.0	23.7	5	6	1.7	-0.4	-19.8	
32	0.00		Freq										Rara fer	3375	137	5	6	1.7	-0.4	-19.8	
			Perm										Perm cls	120.0	15.4	5	1	1.2	0.0	-14.8	
33	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	8	-1.5	-1.7	-15.7		Rara cls	165.0	31.7	5	8	-1.5	-1.7	-15.7	
33	0.00		Freq										Rara fer	3375	173	5	8	-1.5	-1.7	-15.7	
			Perm										Perm cls	120.0	17.8	5	1	-1.2	-0.4	-14.7	
34	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	8	1.5	-1.7	-15.7		Rara cls	165.0	31.7	5	8	1.5	-1.7	-15.7	
34	0.00		Freq										Rara fer	3375	173	5	8	1.5	-1.7	-15.7	
			Perm										Perm cls	120.0	17.8	5	1	1.2	-0.4	-14.7	
35	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	8	-1.6	-3.6	-17.9		Rara cls	165.0	55.4	5	8	-1.6	-3.6	-17.9	
35	0.00		Freq										Rara fer	3375	345	1	8	-1.0	3.7	-16.1	
			Perm										Perm cls	120.0	30.7	5	1	-1.3	-1.8	-16.8	
36	4.14		Rara	0.3	0.000	0	5	8	1.6	-3.6	-17.9		Rara cls	165.0	55.4	5	8	1.6	-3.6	-17.9	
36	0.00		Freq										Rara fer	3375	345	1	8	1.0	3.7	-16.1	
			Perm										Perm cls	120.0	30.7	5	1	1.3	-1.8	-16.8	

### 11.2.10 Armature pilastri

TABELLA PILASTRI QUOTA m: 0.00	
PIL.	PIL.
19 21 22 23  	27 28 29 30 31 32  
20 24 35 36  	
25 26 33 34  	
<b>ACCIAIO B450C    CALCESTR. C30/37</b>	

### 11.3 Verifica travi di fondazione

Come per le travi di elevazione il programma di calcolo date le caratteristiche di sollecitazione desunte dal modello globale determina i quantitativi di armatura necessari al soddisfacimento delle verifiche allo SLV ed SLE.

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nelle tabelle di verifica aste in calcestruzzo per gli stati limite ultimi.

**Trattandosi di una struttura in classe d'uso IV la verifica di resistenza è condotta sia allo SLU che allo SLD.**

- Filo Iniz./Fin.** : Sulla prima riga numero del filo del nodo iniziale, sulla seconda quello del nodo finale
- Cotg  $\Theta$**  : Cotangente Angolo del puntone compresso
- Quota** : Sulla prima riga quota del nodo iniziale, sulla seconda quota del nodo finale
- SgmT** : Solo per le travi di fondazione:  
Pressione di contatto sul terreno in Kg/cm<sup>2</sup> calcolata con i valori caratteristici delle azioni assumendo i coefficienti gamma pari ad uno.
- AmpC** : Solo per le travi di elevazione:  
Coefficiente di amplificazione dei carichi statici per tenere in conto della verifica locale dell'asta a sisma verticale.
- N/Nc** : Solo per i pilastri:

- Percentuale della resistenza massima a compressione della sezione di solo calcestruzzo.*
- Tratto** : Se una trave è suddivisa in più tratti sulla prima riga è riportato il numero del tratto, sulla terza il numero di suddivisioni della trave
- Sez B/H** : Sulla prima riga numero della sezione nell'archivio, sulla seconda base della sezione, sulla terza altezza. Per sezioni a T è riportato l'ingombro massimo della sezione
- Concio** : Numero del concio
- Co Nr** : Numero della combinazione e in sequenza sollecitazioni ultime di calcolo che forniscono la massima deformazione nell'acciaio e nel calcestruzzo per la verifica a flessione
- GamRd** : Solo per le travi di fondazione: Coefficiente di sovreresistenza.
- M Exd** : Momento ultimo di calcolo asse vettore X (per le travi incrementato dalla traslazione del diagramma del momento flettente)
- M Eyd** : Momento ultimo di calcolo asse vettore Y
- N Ed** : Sforzo normale ultimo di calcolo
- x / d** : Rapporto fra la posizione dell'asse neutro e l'altezza utile della sezione moltiplicato per 100
- ef% ec% (\*100)** : deformazioni massime nell'acciaio e nel calcestruzzo moltiplicate per 10.000. Valore limite per l'acciaio 100 (1%), valore limite nel calcestruzzo 35 (0,35%)
- Area** : Area del ferro in centimetri quadri; per le travi rispettivamente superiore ed inferiore, per i pilastri armature lungo la base e l'altezza della sezione
- Co Nr** : Numero della combinazione e in sequenza sollecitazioni ultime di calcolo che forniscono la minore sicurezza per le azioni taglianti e torcenti
- V Exd** : Taglio ultimo di calcolo in direzione X
- V Eyd** : Taglio ultimo di calcolo in direzione Y
- T sdu** : Momento torcente ultimo di calcolo
- V Rxd** : Taglio resistente ultimo delle staffe in direzione X
- V Ryd** : Taglio resistente ultimo delle staffe in direzione Y
- T Rd** : Momento torcente resistente ultimo delle staffe
- T Rld** : Momento torcente resistente ultimo dell'armatura longitudinale
- Coe Cls** : Coefficiente per il controllo di sicurezza del calcestruzzo alle azioni taglianti e torcenti moltiplicato per 100; la sezione è verificata se detto valore e minore o uguale a 100
- Coe Staf** : Coefficiente per il controllo di sicurezza delle staffe alle azioni taglianti e torcenti moltiplicato per 100; la sezione è verificata se detto valore e minore o uguale a 100
- Alon** : Armatura longitudinale a torsione (nelle travi rettangolari per le quali è stata effettuata la verifica a momento My in questo dato viene stampata anche l'armatura flessionale dei lati verticali)
- Staffe** : Passo staffe e lunghezza del tratto da armare
- Moltip Ultimo** : Solo per le stampe di riverifica:  
*Moltiplicatore dei carichi che porta a collasso la sezione. Il percorso dei carichi seguito e' a sforzo normale costante. Le deformazioni riportate sono determinate dalle sollecitazioni di calcolo amplificate del moltiplicatore in parola.*

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - FONDAZIONE																								
Filo Iniz. Fin. Ctg	Quota Iniz. Final	T r	Sez Bas n	C o	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE										VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE									
					Co mb	M Exd (t*m)	N Ed (t)	Moltip Ultimo	Gamm Rd	ef% 100	ec	Area cmq sup inf	Co mb	V Exd (t)	V Eyd (t)	T Sdu (t*m)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	TRd (t*m)	TRld (t*m)	Coe Cls	Coe Sta	ALon cmq	Staffe Pas Lun Fi
21	0.00	11	1	35	25.5	0.0	1.59	1.10	19	8	14.1	14.1	35	0.0	-13.4	0.0	29.7	46.7	26.4	0.0	18	29	0.0	13 78 8
19	0.00	50	3	35	-17.6	0.0	2.11	1.10	19	5	14.1	14.1	35	0.0	-13.2	0.0	29.7	46.7	26.4	0.0	18	28	0.0	13 368 8
2.5		75	5	40	25.5	0.0	1.59	1.10	19	8	14.1	14.1	40	0.0	13.4	0.0	29.7	46.7	26.4	0.0	18	29	0.0	13 78 8
23	0.00	11	1	25	25.4	0.0	1.59	1.10	19	8	14.1	14.1	25	0.0	-13.3	0.0	29.7	46.7	26.4	0.0	18	29	0.0	13 78 8
22	0.00	50	3	25	-17.5	0.0	2.12	1.10	19	5	14.1	14.1	25	0.0	-13.2	0.0	29.7	46.7	26.4	0.0	17	28	0.0	13 368 8
2.5		75	5	30	25.4	0.0	1.59	1.10	19	8	14.1	14.1	30	0.0	13.3	0.0	29.7	46.7	26.4	0.0	18	29	0.0	13 78 8
24	0.00	11	1	40	-12.1	0.0	3.07	1.10	19	5	14.1	14.1	6	0.0	-14.1	0.0	29.7	46.7	26.4	0.0	19	30	0.0	13 78 8
20	0.00	50	3	35	-14.1	0.0	2.65	1.10	19	5	14.1	14.1	6	0.0	-10.5	0.0	29.7	46.7	26.4	0.0	14	22	0.0	13 448 8
2.5		75	5	35	-12.1	0.0	3.07	1.10	19	5	14.1	14.1	6	0.0	14.1	0.0	29.7	46.7	26.4	0.0	19	30	0.0	13 78 8



RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA  
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

PROGETTO DEFINITIVO  
Relazione di calcolo

COMMESSA IV01 LOTTO 00 CODIFICA D 26 CL DOCUMENTO FA0202 001 REV. A FOGLIO 80 di 104

Table with multiple columns of numerical data, likely representing structural calculations for various sections. Each row group corresponds to a specific section number (e.g., 26, 25, 2.5) and includes values for various parameters like displacement, internal forces, and section properties.

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.D. - FONDAZIONE

Table with columns for 'VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE' and 'VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE'. It includes parameters such as Filo Iniz/Fin, Quota Iniz/Fin, and various mechanical and material properties for foundation verification.







STAMPA VERIFICHE S.L.E. FONDAZIONE																				
			FESSURAZIONE									FRECCHE			TENSIONI					
Filo	Quota	Tra	Combi	Fessu.	dist	Con	Com	Mf X	Mf Y	N	Frecce	Com	Combinaz	$\sigma$ lim.	$\sigma$ cal.	Co	Comb	Mf X	Mf Y	N
In fi	In Fi	tto	Caric	lim cal	mm	cio	bin	(t*m)	(t*m)	(t)	mm	bin	Carico	Kg/cmq	Kg/cmq	nc		(t*m)	(t*m)	(t)
limite calc																				
31	0.00		Rara	0.2	0.000	0	1	3	3.6	0.0			Rara cls	137.5	12.8	1	3	3.6	0.0	0.0
33	0.00		Freq										Rara fer	3375	338	1	3	3.6	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	100.0	8.4	1	1	2.4	0.0	0.0
32	0.00		Rara	0.2	0.000	0	1	3	3.6	0.0			Rara cls	137.5	12.8	1	3	3.6	0.0	0.0
34	0.00		Freq										Rara fer	3375	338	1	3	3.6	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	100.0	8.4	1	1	2.4	0.0	0.0
33	0.00		Rara	0.2	0.000	0	5	6	4.5	0.0			Rara cls	137.5	15.8	5	6	4.5	0.0	0.0
35	0.00		Freq										Rara fer	3375	417	5	6	4.5	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	100.0	8.7	5	1	2.5	0.0	0.0
34	0.00		Rara	0.2	0.000	0	5	6	4.5	0.0			Rara cls	137.5	15.8	5	6	4.5	0.0	0.0
36	0.00		Freq										Rara fer	3375	417	5	6	4.5	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	100.0	8.7	5	1	2.5	0.0	0.0
21	0.00		Rara	0.2	0.000	0	3	3	-6.0	0.0			Rara cls	137.5	14.0	3	3	-6.0	0.0	0.0
24	0.00		Freq										Rara fer	3375	617	3	3	-6.0	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	100.0	9.8	3	1	-4.2	0.0	0.0
35	0.00		Rara	0.2	0.000	0	3	3	-5.8	0.0			Rara cls	137.5	13.6	3	3	-5.8	0.0	0.0
22	0.00		Freq										Rara fer	3375	599	3	3	-5.8	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	100.0	9.5	3	1	-4.1	0.0	0.0
36	0.00		Rara	0.2	0.000	0	3	3	-5.8	0.0			Rara cls	137.5	13.6	3	3	-5.8	0.0	0.0
23	0.00		Freq										Rara fer	3375	599	3	3	-5.8	0.0	0.0
			Perm										Perm cls	100.0	9.5	3	1	-4.1	0.0	0.0

## 12 VERIFICA SOLAI

E' prevista una tipologia di solaio: a travetti prefabbricati tralicciati  $h = 20+5 = 25$  cm

Per il calcolo si assumono schemi semplificati di travi appoggiate o continue su più appoggi imponendo in mezzera un momento minimo pari a  $ql^2/10$  ed all'appoggio un momento pari a  $ql^2/12$ .

La verifica a momento e taglio delle sezioni è stata effettuata con il metodo degli stati limite, assumendo come sezione resistente quella costituita dall'area compressa di conglomerato e dalle aree metalliche.

Per le verifiche sono stati rispettati i minimi di legge per quanto riguarda la larghezza massima di soletta collaborante, lo spessore minimo del solaio e della caldana e il rispetto delle armature minime.

Per tutti i tipi di solaio viene verificata l'armatura sia nella fase di getto del calcestruzzo di completamento che nelle condizioni di esercizio.

Nella fase di getto lo schema di calcolo è quello di un traliccio reticolare appoggiato sulle travi di bordo della campata e sugli eventuali puntelli intermedi (da disporre comunque ad interasse non superiore ai 150 cm), mentre nelle condizioni di esercizio si fa riferimento ad uno schema a trave continua con una sezione in calcestruzzo armato.

- Verifiche in fase di getto per i solai prefabbricati.

I carichi presi in considerazione sono:

pt = peso proprio del travetto (lastra)

pc = peso proprio del getto di calcestruzzo

sa = sovraccarico accidentale in fase di getto

qt =  $1.3 * (pt + pc) + 1.5 * sa$

La luce di calcolo è:

$$l = \frac{l_c}{(n+1)}$$

$l$  = luce di calcolo  
 $l_c$  = luce della campata  
 $n$  = puntelli intermedi

Vengono effettuate le verifiche a momento flettente in campata ed a taglio sugli appoggi.

- *Verifiche in campata*

$$M = \frac{ql^2}{8}$$

$$F_c = F_t = \frac{M}{h}$$

$q$  = la parte del carico  $qt$  di competenza del singolo travetto

$l$  = luce di calcolo come prima definita

$h$  = distanza tra i baricentri delle armature superiori e inferiori

$F_c, F_t$  = Forza agente nelle armature superiori e inferiori per equilibrare il momento flettente

Verifica del tondino (corrente) superiore compresso a carico di punta con il metodo  $\Omega$ :

$$\frac{\Omega F_c}{A_c} \leq \sigma_s$$

$\Omega$  = coefficiente omega relativo al tondino superiore, pensato appoggiato tra due staffe consecutive

$A_c$  = area del tondino superiore (corrente compresso)

$\sigma_s$  = tensione di calcolo dell'armatura (tensione di snervamento diviso il coefficiente di sicurezza parziale)

Verifica dei tondini (correnti) inferiori tesi:

$$\frac{F_t}{2A_t} \leq \sigma_s$$

$A_t$  = area del singolo tondino inferiore (ne sono presenti due)

- *Verifica sugli appoggi*

$$T = \frac{ql}{2}$$

Il taglio viene assorbito dalle staffe inclinate del traliccio per cui verrà verificata a carico di punta la staffa soggetta a compressione:

$$C_s = \frac{T}{2 \cos \alpha \cos \beta}$$

$$l_0 = \frac{h}{\cos \alpha \cos \beta}$$

$$\frac{\Omega C_s}{A_s} \leq \sigma_s$$

$C_s$  = Sforzo agente sulla staffa inclinata compressa (le staffe hanno due bracci)

$2*\alpha$  = angolo compreso tra le proiezioni delle staffe sul piano trasversale al traliccio

$2*\beta$  = angolo compreso tra le proiezioni delle staffe sul piano longitudinale al traliccio

$l_0$  = lunghezza libera di inflessione della staffa compressa

$\Omega$  = coefficiente omega

$A_s$  = area staffa

- Verifiche in fase di esercizio per i solai prefabbricati.

In esercizio verranno effettuate le consuete verifiche per le sezioni a T in calcestruzzo armato, tenendo in conto l'eventuale presenza di armatura aggiuntiva. Nelle verifiche vengono tenute in conto le diverse altezze dei baricentri delle armature inferiori. Poiché la sezione viene completata in opera è necessario verificare lo scorrimento nella fibra di contatto tra il calcestruzzo gettato in opera e la coppella.

$$S = \tau \cdot b \cdot a$$

$$C_s = \frac{S}{2 \cos \alpha \cos \beta}$$

$$\frac{C_s}{A_s} \leq \sigma_s$$

S = scorrimento

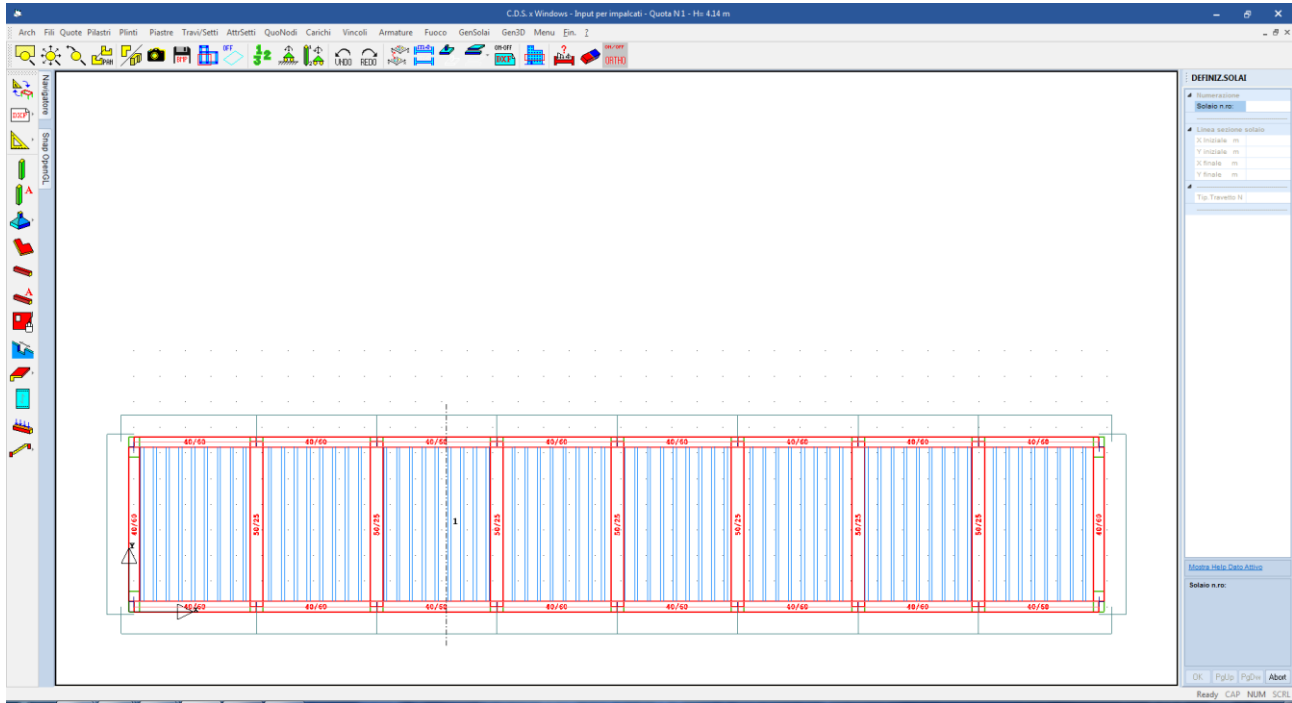
$\tau$  = tensione tangenziale nella fibra di contatto tra la coppella ed il calcestruzzo

b = larghezza travetto

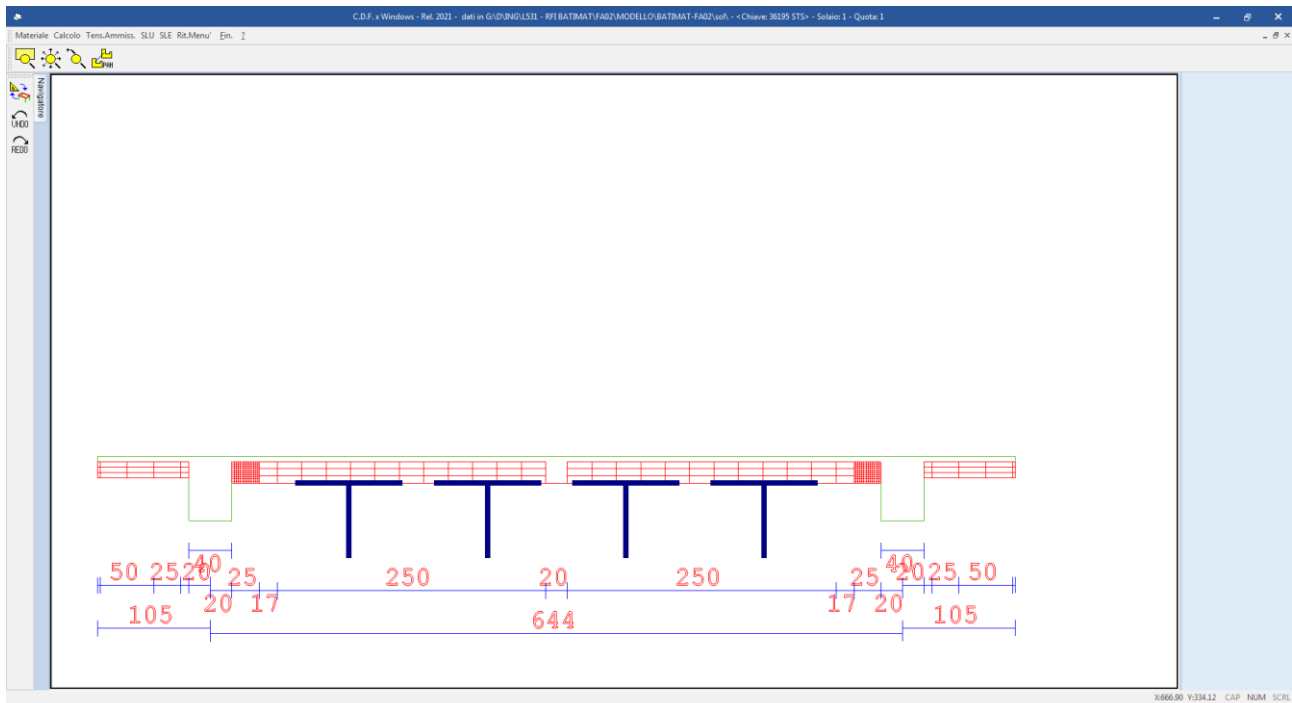
a = interasse longitudinale tra le staffe

In fase di esercizio non si effettua la verifica a carico di punta in quanto, essendo il getto maturato, la staffa non può più instabilizzarsi.

Nella figura seguente sono indicati i solai le cui verifiche sono riportate nel dettaglio nell'allegato alla presente relazione.



**Figura 32: identificazione del solaio n.1 al piano copertura**



**Figura 33: schema di calcolo**

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>						
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA IV01</td> <td>LOTTO 00</td> <td>CODIFICA D 26 CL</td> <td>DOCUMENTO FA0202 001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 87 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0202 001	REV. A	FOGLIO 87 di 104
COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0202 001	REV. A	FOGLIO 87 di 104		

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nella tabella di stampa dei carichi distribuiti:

- Campata N.ro* : Numero della campata
- Peso* : Peso proprio del solaio più sovraccarico permanente
- Acc. iniz.* : Valore iniziale del carico accidentale a distribuzione lineare
- Acc. finale* : Valore finale del carico accidentale a distribuzione lineare
- Asc. iniz.* : Ascissa del punto di inizio della zona soggetta al carico accidentale
- Asc. fin* : Ascissa del punto finale della zona soggetta al carico accidentale

- **SPECIFICHE CAMPI TABELLA DI STAMPA CARICHI CONCENTRATI**

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nella tabella di stampa dei carichi concentrati:

- Campata N.ro* : Numero della campata
- Asc. F1* : Ascissa del punto di applicazione della prima forza concentrata
- Forza 1* : Intensità della prima forza concentrata
- Asc. F2* : Ascissa del punto di applicazione della seconda forza concentrata
- Forza 2* : Intensità della seconda forza concentrata
- Asc. M1* : Ascissa del punto di applicazione della prima coppia concentrata
- Mom. 1* : Intensità della prima coppia concentrata
- Asc. M2* : Ascissa del punto di applicazione della seconda coppia concentrata
- Mom. 2* : Intensità della seconda coppia concentrata

- **SPECIFICHE CAMPI TABELLA DI STAMPA COMBINAZIONI DI CARICO**

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nella tabella di stampa delle combinazioni di carico:

- Comb. N.ro* : Numero della combinazione di carico per cui valgono le sollecitazioni e gli abbassamenti della riga corrispondente
- Coeff n* : Flag di presenza dei carichi variabili per la campata n-esima (0 esclude il carico variabile sulla campata relativamente a quella

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>						
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA IV01</td> <td>LOTTO 00</td> <td>CODIFICA D 26 CL</td> <td>DOCUMENTO FA0202 001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 88 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0202 001	REV. A	FOGLIO 88 di 104
COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0202 001	REV. A	FOGLIO 88 di 104		

*combinazione di carico; 1 ne tiene conto). Se per una data combinazione il carico e' attivo, il valore del coefficiente di combinazione dei carichi vale: per gli SLU 1.5; per gli SLE 1 per le combinazioni rare, psi1 per le frequenti e psi2 per le permanenti. Il coefficiente di combinazione dei carichi permanenti vale: per gli SLU 1.3 e per gli SLE 1*

- SPECIFICHE CAMPI TABELLA DI STAMPA CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE**

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nella tabella di stampa delle sollecitazioni e degli abbassamenti:

- Comb.N.ro** : Numero della combinazione di carico per cui valgono le sollecitazioni e gli abbassamenti della riga corrispondente
- Camp.N.ro** : Numero della campata a cui si riferiscono le sollecitazioni e gli abbassamenti della riga corrispondente
- M. in.** : Momento flettente all'appoggio iniziale
- N. in.** : Sforzo normale all'appoggio iniziale
- T. in.** : Taglio all'appoggio iniziale
- M. fin.** : Momento flettente all'appoggio finale
- N. fin.** : Sforzo normale all'appoggio finale
- T. fin.** : Taglio all'appoggio finale
- W. mezz.** : Abbassamento corrispondente alla sezione di mezzeria

- SPECIFICHE CAMPI TABELLA DI STAMPA REAZIONI DI APPOGGIO**

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nella tabella di stampa delle reazioni di appoggio:

- Comb.N.ro** : Numero della combinazione di carico per cui valgono le sollecitazioni e gli abbassamenti della riga corrispondente
- App. N.ro** : Numero della campata a cui si riferiscono le sollecitazioni e gli abbassamenti della riga corrispondente
- Rx** : Reazione in direzione x (orizzontale)
- Ry** : Reazione in direzione y (verticale)



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0202 001	REV. A	FOGLIO 89 di 104

**Mz** : *Momento reagente*

- SPECIFICHE CAMPI TABELLA DI STAMPA VERIFICHE S.L.U.**

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nella tabella di stampa delle verifiche agli stati limite ultimi:

<b>Camp.N.ro</b>	: <i>Numero della campata a cui si riferiscono le verifiche della riga corrispondente</i>
<b>Asc. in.</b>	: <i>Ascissa del nodo iniziale della campata</i>
<b>Asc. fin.</b>	: <i>Ascissa del nodo finale della campata</i>
<b>Mom. neg.</b>	: <i>Momento flettente negativo massimo</i>
<b>ef%neg.</b>	: <i>Deformazione per cento dell'acciaio corrispondente al momento negativo (valore limite di norma 1,00)</i>
<b>ec%neg.</b>	: <i>Deformazione per cento del calcestruzzo corrispondente al momento negativo (valore limite di norma 0,35)</i>
<b>Mom. pos.</b>	: <i>Momento flettente positivo massimo</i>
<b>ef%pos.</b>	: <i>Deformazione per cento dell'acciaio corrispondente al momento positivo (valore limite di norma 1,00)</i>
<b>ec%pos.</b>	: <i>Deformazione per cento del calcestruzzo corrispondente al momento positivo (valore limite di norma 0,35)</i>
<b>Af sup.</b>	: <i>Armatura longitudinale superiore</i>
<b>Af inf.</b>	: <i>Armatura longitudinale inferiore</i>
<b>Tag. neg.</b>	: <i>Taglio negativo massimo</i>
<b>Tag. pos.</b>	: <i>Taglio positivo massimo</i>
<b>Rapporto Vsd/Vrdu</b>	: <i>Rapporto fra il taglio di calcolo ed il taglio resistente del cls (valore limite di norma 1,00)</i>

Nel caso di stampa dopo la riverifica SLE le colonne delle deformazioni vengono sostituite dalle seguenti colonne

<b>Mom. Ult.</b>	: <i>Momento ultimo della sezione</i>
<b>Mom./Mom. Ult.</b>	: <i>Rapporto fra il momento agente ed il momento ultimo; la sezione è verificata se il valore è minore di 1</i>

- SPECIFICHE CAMPI TABELLA DI STAMPA VERIFICHE AUTOPORTANZA**

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>						
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA IV01</td> <td>LOTTO 00</td> <td>CODIFICA D 26 CL</td> <td>DOCUMENTO FA0202 001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 90 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0202 001	REV. A	FOGLIO 90 di 104
COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FA0202 001	REV. A	FOGLIO 90 di 104		

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nel tabulato di stampa dei dati di verifica dei travetti prefabbricati in condizioni di autoportanza ed esercizio:

<b>Camp.N.ro</b>	: Numero della campata a cui si riferiscono le verifiche della riga corrispondente
<b>Mom. Max</b>	: Momento massimo positivo in campata considerando quale luce di calcolo quella tra due puntelli successivi
<b>σf sup.</b>	: Tensione massima nel corrente superiore compresso del traliccio verificato a carico di punta
<b>σf inf.</b>	: Tensione massima nel corrente inferiore teso del traliccio
<b>Taglio</b>	: Taglio massimo in corrispondenza del puntello
<b>σf trl.</b>	: Tensione massima nella staffa compressa del traliccio verificato a carico di punta
<b>Scorr.</b>	: Scorrimento nella fibra di contatto tra il calcestruzzo gettato in opera e la coppella
<b>σf tral.</b>	: Tensione dovuta allo scorrimento nella staffa compressa
<b>σf lim.</b>	: Tensione di calcolo dell'armatura (tensione di snervamento diviso il coefficiente di sicurezza parziale)

• **SPECIFICHE CAMPI TABELLA DI STAMPA VERIFICHE CAMPATE SEZIONI IN PRECOMPRESSO**

Si riporta di seguito la spiegazione delle sigle usate nella tabella di stampa delle verifiche:

<b>Camp.N.ro</b>	: Numero della campata a cui si riferiscono le verifiche della riga corrispondente
<b>Descrizione</b>	: Descrizione del tipo di travetto precompresso utilizzato
<b>Contrass Tipo Armatura</b>	: Tipologia di armatura presente all'interno del travetto (v. tabelle archivi)
<b>Momento Calcolo</b>	: Momenti flettenti agenti, per la fascia di 1.00 m sulle sezioni del solaio
<b>Mom. Serv.</b>	: Momenti resistenti di servizio, per la fascia di 1.00 m sulle sezioni del solaio
<b>Mom. Rott.</b>	: Momento resistente a rottura, per la fascia di 1.00 m sulle sezioni del solaio
<b>Coeff. Sic. Rott.</b>	: Rapporto tra il momento di rottura e quello di calcolo (deve essere maggiore di 1)

• **SPECIFICHE CAMPI TABELLA DI STAMPA VERIFICHE S.L.E.**

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nel tabulato di stampa dei dati di verifica degli stati limite di esercizio:

- Campata** : Numero della campata
- Comb  
Caric** : Indicatore della matrice di combinazione; la prima riga individua la matrice delle combinazioni rare, la seconda la matrice delle combinazioni frequenti, la terza quella permanenti. Questo indicatore vale sia per la verifica a fessurazione che per il calcolo delle frecce
- Fessu  
lim cal** : Fessura limite e fessura di calcolo espressa in mm; se la campata non risulta fessurata l'ampiezza di calcolo sarà nulla
- Dist mm** : Distanza fra le fessure
- Concio** : Numero del concio in cui si è avuta la massima fessura
- Combin** : Numero della combinazione ed in sequenza sollecitazioni per cui si è avuta la massima fessura
- Momento** : Momento flettente che ha causato la massima fessura
- Frecce** : Freccia limite e freccia massima di calcolo
- Combin** : Numero della combinazione che ha prodotto la freccia massima
- Cominaz  
Carico** : Indicatore della matrice di combinazione; la prima riga individua la matrice delle combinazioni rare per la verifica della tensione sul cls, la seconda la matrice delle combinazioni rare per la verifica della tensione sull'acciaio, la terza la matrice delle combinazioni permanenti per la verifica della tensione sul cls
- s lim** : Valore della tensione limite
- s cal** : Valore della tensione di calcolo
- Concio** : Numero del concio in cui si è avuta la massima tensione
- Cmb** : Numero della combinazione ed in sequenza sollecitazioni per cui si è avuta la massima tensione
- Momento** : Momento flettente che ha causato la massima tensione

**ARCHIVIO SEZIONI C.A.O.**

**ARCHIVIO SEZIONI**

Sezione N.ro	Base trav. (cm)	Alt. trav. (cm)	Base pign. (cm)	Alt. pign. (cm)	Lungh.pign. (cm)
1	12.0	20.0	38.0	15.0	25.0

**ARCHIVIO SEZIONI TRAVETTI PREFABBRICATI**

**ARCHIVIO SEZIONI TRAVETTI PREFABBRICATI**

**PROGETTO DEFINITIVO**  
 Relazione di calcolo

COMMESSA IV01    LOTTO 00    CODIFICA D 26 CL    DOCUMENTO FA0202 001    REV. A    FOGLIO 92 di 104

Sez. N.ro	B trv cm	H trv cm	B pgn cm	H pgn cm	L pgn cm	Gamma kg/mc	B tral. cm	H tral. cm	D teste cm	Incl. Grd	Fi st mm	FiSup mm	Filnf mm	NumFi inf.	Filnt mm	Coprif. (cm)	Numero Travetti
101	12	25	38	20	25	800	8.5	7.0	0.0	60	5	7	5	0	10	1.0	Singolo

**DATI GEN. QUOTA 1 SOLAIO 1**
**DATI GENERALI**

Scarto Copriferro (cm)	1.0
Copri ferro (cm)	3.5
Coefficiente di Ridistribuzione Plastica(1=Soluz.Elastica)	1.00

**CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

Classe Calcestruzzo	C32/40	Classe Acciaio	B450C
Modulo Elastico CLS	333457 kg/cmq	Modulo Elastico Acc	2100000 kg/cmq
Coeff. di Poisson	0.2	Tipo Armatura	POCO SENSIBILI
Resist.Car. CLS 'fck'	320.0 kg/cmq	Tipo Ambiente	ORDINAR. XC2/XC3
Resist. Calcolo 'fcd'	181.0 kg/cmq	Resist.Car.Acc 'fyk'	4500.0 kg/cmq
Tens. Max. CLS 'rcd'	181.0 kg/cmq	Tens. Rott.Acc 'ftk'	4500.0 kg/cmq
Def.Lim.El. CLS 'eco'	0.20 %	Resist. Calcolo'fyd'	3913.0 kg/cmq
Def.Lim.Ult CLS 'ecu'	0.35 %	Def.Lim.Ult.Acc'eyu'	1.00 %
Fessura Max.Comb.Rare	mm	Sigma CLS Comb.Rare	192.0 kg/cmq
Fessura Max.Comb.Perm	0.3 mm	Sigma CLS Comb.Perm	144.0 kg/cmq
Fessura Max.Comb.Freq	0.4 mm	Sigma Acc Comb.Rare	3600.0 kg/cmq
Peso Spec.CLS Armato	2500 kg/mc		
Rapporto Luce/Spont.max per combinazioni rare	NON ESEGUITA		
Rapporto Luce/Spont.max per combinazioni frequenti	NON ESEGUITA		
Rapporto Luce/Spont.max per combinazioni quasi permanenti	NON ESEGUITA		
Coefficiente di viscosita'	2.00		
Coefficiente condizione carichi Psi1	0.200		
Coefficiente condizione carichi Psi2	0.000		

**APPOGGI QUOTA 1 SOLAIO 1**
**DATI DI APPOGGIO**

Appoggio N.ro	Ascissa (cm)	Ordinata (cm)	Larghezza (cm)	Altezza (cm)	Tipo Vincolo
1	44.9	0.0	0.0	0.0	CERNIERA
2	150.0	0.0	40.0	60.0	INCASTRO
3	794.0	0.0	40.0	60.0	INCASTRO
4	899.0	0.0	0.0	0.0	CERNIERA

**CAMPATE QUOTA 1 SOLAIO 1**
**DATI DI CAMPATA**

Campata N.ro	Lungh. (cm)	Tipo Sez.	Fascia sx (cm)	Fascia dx (cm)	Asc.Romp. (cm)	Base Romp. (cm)	Puntellata
1	105.1	1	0.0	20.0	52.0	0.0	NO
2	644.0	101	20.0	20.0	322.0	20.0	SI
3	105.0	1	20.0	0.0	52.0	0.0	NO

**CAR. DISTR. QUOTA 1 SOLAIO 1**
**CARICHI DISTRIBUITI**

Campata N.ro	Peso (kg/mq)	Acc. iniz. (kg/mq)	Acc. finale (kg/mq)	Asc. iniz. (cm)	Asc. fin. (cm)	DESCRIZIONE
1	650.0	286.00	286.00	0.00	104.00	
2	520.0	286.00	286.00	0.00	644.00	
3	650.0	286.00	286.00	0.00	105.00	

**PROGETTO DEFINITIVO**  
 Relazione di calcolo

COMMESSA IV01    LOTTO 00    CODIFICA D 26 CL    DOCUMENTO FA0202 001    REV. A    FOGLIO 93 di 104

TABELLA DEI COEFFICIENTI DEI CARICHI																				
Comb. N.ro	Coef 1	Coef 2	Coef 3	Coef 4	Coef 5	Coef 6	Coef 7	Coef 8	Coef 9	Coef 10	Coef 11	Coef 12	Coef 13	Coef 14	Coef 15	Coef 16	Coef 17	Coef 18	Coef 19	Coef 20
1	1.0	1.0	1.0																	
2	0.0	1.0	0.0																	
3	1.0	0.0	1.0																	
4	1.0	1.0	0.0																	
5	0.0	1.0	1.0																	

**CARATT. QUOTA 1 SOLAIO 1**
**CARATTERISTICHE ED ABBASSAMENTI**

Comb. N.ro	Camp. N.ro	M.in. (kgm)	N.in. (kg)	T.in. (kg)	M.fin. (kgm)	N.fin. (kg)	T.fin. (kg)	W.mezz. (mm)
0	1	0	0	0	169	0	-322	-0.99
	2	-169	0	-1182	169	0	-1182	3.98
	3	-169	0	-321	0	0	0	-0.99
1	1	0	0	0	742	0	-1407	-2.85
	2	-742	0	-3657	740	0	-3656	11.71
	3	-740	0	-1410	0	0	0	-2.84
2	1	0	0	0	169	0	-322	-3.43
	2	-169	0	-3657	169	0	-3657	13.32
	3	-169	0	-321	0	0	0	-3.43
3	1	0	0	0	742	0	-1407	-0.41
	2	-742	0	-1182	740	0	-1182	2.37
	3	-740	0	-1410	0	0	0	-0.41
4	1	0	0	0	742	0	-1407	-3.02
	2	-742	0	-3746	169	0	-3568	12.51
	3	-169	0	-321	0	0	0	-3.25
5	1	0	0	0	169	0	-322	-3.25
	2	-169	0	-3568	740	0	-3745	12.51
	3	-740	0	-1410	0	0	0	-3.02

**REAZIONI A QUOTA 1 SOLAIO 1**
**REAZIONI E SPOSTAMENTI DI APPOGGIO**

Comb. N.ro	App. N.ro	Rx (kg)	Ry (kg)	Mz (kgm)	Spostx (mm)	Sposty (mm)	Rotaz sx (rad)	Rotaz dx (rad)
0	1	0	0	0	0.00	-1.97	0.0018579	
	2	0	-1503	0	0.00	0.00	0.0019197	
	3	0	-1503	0	0.00	0.00	-0.0019199	
	4	0	0	0	0.00	-1.97	-0.0018582	
1	1	0	0	0	0.00	-5.63	0.0052873	
	2	0	-5063	0	0.00	0.00	0.0055585	
	3	0	-5066	0	0.00	0.00	-0.0055594	
	4	0	0	0	0.00	-5.62	-0.0052888	
2	1	0	0	0	0.00	-6.84	0.0064958	
	2	0	-3978	0	0.00	0.00	0.0065577	
	3	0	-3978	0	0.00	0.00	-0.0065579	
	4	0	0	0	0.00	-6.84	-0.0064962	
3	1	0	0	0	0.00	-0.75	0.0006493	

**PROGETTO DEFINITIVO**  
 Relazione di calcolo

COMMESSA IV01    LOTTO 00    CODIFICA D 26 CL    DOCUMENTO FA0202 001    REV. A    FOGLIO 94 di 104

**REAZIONI A QUOTA 1 SOLAIO 1**
**REAZIONI E SPOSTAMENTI DI APPOGGIO**

Comb. N.ro	App. N.ro	Rx (kg)	Ry (kg)	Mz (kgm)	Spostx (mm)	Sposty (mm)	Rotaz sx (rad)	Rotaz dx (rad)
	2	0	-2589	0	0.00	0.00	0.0009206	
	3	0	-2591	0	0.00	0.00	-0.0009214	
	4	0	0	0	0.00	-0.75	-0.0006509	
4	1	0	0	0	0.00	-5.98	0.0056199	
	2	0	-5152	0	0.00	0.00	0.0058912	
	3	0	-3889	0	0.00	0.00	-0.0062246	
	4	0	0	0	0.00	-6.49	-0.0061630	
5	1	0	0	0	0.00	-6.49	0.0061632	
	2	0	-3890	0	0.00	0.00	0.0062250	
	3	0	-5155	0	0.00	0.00	-0.0058926	
	4	0	0	0	0.00	-5.97	-0.0056221	

**VERIF. QUOTA 1 SOLAIO 1**
**VERIFICHE SEZIONI**

Camp. N.ro	Asc.in. (m)	Asc.fin. (m)	Mom. neg (kgm)	εf%neg	εc%neg	Mom. pos (kgm)	εf%pos	εc%pos	Af sup. (cmq)	Af inf. (cmq)	Tag. neg (kg)	Tag. pos (kg)	Rapporto VSd/VRdu
1	0.00	0.00	-7	0.04	0.00	0	0.00	0.00	0.06	0.03	0	0	0.00
	0.00	0.12	-24	0.09	0.01	0	0.00	0.00	0.08	0.03	-82	0	0.07
	0.12	0.24	-51	0.13	0.02	0	0.00	0.00	0.12	0.03	-163	0	0.15
	0.24	0.36	-88	0.16	0.03	0	0.00	0.00	0.16	0.03	-245	0	0.22
	0.36	0.49	-135	0.18	0.03	0	0.00	0.00	0.22	0.22	-326	0	0.29
	0.49	0.61	-192	0.17	0.04	0	0.00	0.00	0.35	0.05	-408	0	0.37
	0.61	0.73	-259	0.22	0.05	0	0.00	0.00	0.43	0.05	-490	0	0.44
	0.73	0.85	-335	0.18	0.06	0	0.00	0.00	0.58	0.08	-571	0	0.52
	0.85	0.95	-371	0.18	0.03	0	0.00	0.00	0.62	0.08	-639	0	0.14
	0.95	1.05	-371	0.16	0.02	0	0.00	0.00	0.70	0.18	-703	0	0.15
2	0.00	0.20	-1962	0.70	0.10	591	0.59	0.06	2.41	0.68	0	1873	0.32
	0.20	0.45	-1608	0.37	0.08	974	0.93	0.09	2.09	1.10	0	1759	0.48
	0.45	1.37	-1197	0.80	0.17	2083	0.80	0.11	1.77	2.63	0	1617	0.83
	1.37	2.30	0	0.00	0.00	2708	0.66	0.11	0.38	3.52	0	1093	0.51
	2.30	3.22	0	0.00	0.00	2859	0.68	0.12	0.40	3.72	-44	569	0.26
	3.22	4.14	0	0.00	0.00	2859	0.68	0.12	0.40	3.72	-569	44	0.26
	4.14	5.07	0	0.00	0.00	2708	0.66	0.11	0.38	3.52	-1093	0	0.51
	5.07	5.99	-1197	0.80	0.17	2083	0.80	0.11	1.77	2.63	-1617	0	0.83
	5.99	6.24	-1608	0.37	0.08	975	0.93	0.09	2.09	1.10	-1759	0	0.48
	6.24	6.44	-1962	0.70	0.10	591	0.59	0.06	2.41	0.68	-1873	0	0.32
3	0.00	0.10	-370	0.16	0.02	0	0.00	0.00	0.70	0.18	0	705	0.15
	0.10	0.20	-370	0.18	0.03	0	0.00	0.00	0.62	0.08	0	638	0.14
	0.20	0.32	-335	0.18	0.06	0	0.00	0.00	0.58	0.08	0	571	0.51
	0.32	0.44	-258	0.21	0.05	0	0.00	0.00	0.43	0.05	0	489	0.44
	0.44	0.56	-192	0.17	0.04	0	0.00	0.00	0.34	0.34	0	408	0.37
	0.56	0.69	-135	0.18	0.03	0	0.00	0.00	0.22	0.03	0	326	0.29
	0.69	0.81	-88	0.16	0.03	0	0.00	0.00	0.16	0.03	0	245	0.22
	0.81	0.93	-51	0.13	0.02	0	0.00	0.00	0.12	0.03	0	163	0.15
	0.93	1.05	-24	0.09	0.01	0	0.00	0.00	0.08	0.03	0	82	0.07
	1.05	1.05	-7	0.04	0.00	0	0.00	0.00	0.06	0.03	0	0	0.00

**VERIF. QUOTA 1 SOLAIO 1**
**VERIFICHE AUTOPORTANZA**
**ESERCIZIO**

Camp. N.ro	Mom. Max kgm	σf sup kg/cmq	σf inf kg/cmq	Taglio kg	σf trl kg/cmq	Scorr. kg	σf tral kg/cmq	σf lim kg/cmq	STATUS VERIFICA
2	65	2773	2363	202	1138	585	2013	3913	VERIFICATO

### 13 VERIFICHE DELLE FONDAZIONI

#### 13.1 Generalità

Per ogni stato limite ultimo è stata rispettata la condizione generale:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F F_k$ , dei parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$  e della geometria di progetto  $a_d$ .

Nelle verifiche di sicurezza eseguite, sono stati presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Poiché la fondazione in progetto è costituita da un graticcio di travi in c.a., gli stati limite ultimi si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione.

Le verifiche sono state effettuate nei confronti dei seguenti stati limite:

*SLU di tipo geotecnico (GEO)*

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
- collasso per scorrimento sul piano di posa

*SLU di tipo strutturale (STR)*

- Raggiungimento della resistenza ultima negli elementi strutturali

Le verifiche geotecniche devono essere eseguite seguendo uno dei 2 approcci elencati nel seguito, utilizzando i coefficienti parziali riportati nella tabella sotto:

Approccio 1:

- Combinazione 1 (A1+M1+R1)
- Combinazione 2 (A2+M2+R2)

Approccio 2:

- Combinazione 1 (A1+M1+R3)

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto nel § 6.8, secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

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

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto.

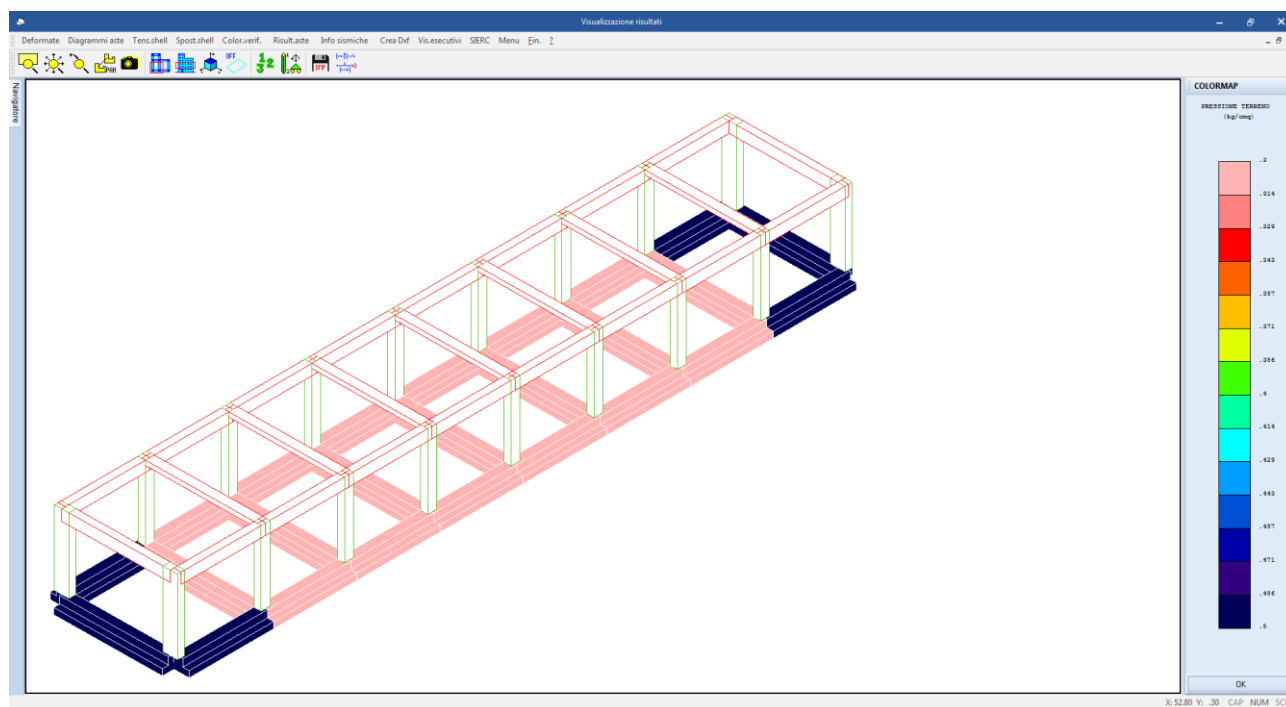
 Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

## 13.2 Verifiche geotecniche

La pressione di contatto con il terreno rappresentata nelle figure seguenti per le principali combinazioni di calcolo SLV.





**Figura 34: pressioni di contatto col terreno in combinazione SLV1 (max = 0.50 daN/cm<sup>2</sup>)**

La capacità portante limite delle travi di fondazione viene valutata secondo Brinch-Hansen con la relazione:

$$q_{\text{lim}} = q N_q \gamma_q i_q d_q b_q g_q s_q + c N_c \gamma_c i_c d_c b_c g_c s_c + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma \gamma_\gamma i_\gamma d_\gamma b_\gamma g_\gamma s_\gamma$$

dove

Caratteristiche geometriche della fondazione:

$q$  = carico sul piano di fondazione

$B$  = lato minore della fondazione

$L$  = lato maggiore della fondazione

$D$  = profondità della fondazione

$\alpha$  = inclinazione base della fondazione

$G$  = peso specifico del terreno

$B'$  = larghezza di fondazione ridotta =  $B - 2 e_B$

$L'$  = lunghezza di fondazione ridotta =  $L - 2 e_L$

Caratteristiche di carico sulla fondazione:

$H$  = risultante delle forze orizzontali

$N$  = risultante delle forze verticali

$e_B$  = eccentricità del carico verticale lungo  $B$

$e_L$  = eccentricità del carico verticale lungo  $L$

$F_h B$  = forza orizzontale lungo  $B$

$F_h L$  = forza orizzontale lungo  $L$

Caratteristiche del terreno di fondazione:

$\beta$  = inclinazione terreno a valle  
 $c = c_u$  = coesione non drenata (condizioni U)  
 $c = c'$  = coesione drenata (condizioni D)  
 $\Gamma$  = peso specifico apparente (condizioni U)  
 $\Gamma = \Gamma'$  = peso specifico sommerso (condizioni D)  
 $\phi = 0$  = angolo di attrito interno (condizioni U)  
 $\phi = \phi'$  = angolo di attrito interno (condizioni D)

Fattori di capacità portante:

$Nq = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \exp(\pi + \tan \phi)$  (Prandtl-Cauchot-Meyerhof)  
 $Ng = 2(Nq + 1) \tan \phi$  (Vesic)  
 $Nc = \frac{Nq - 1}{\tan \phi}$  in condizioni D (Reissner-Meyerhof)  
 $Nc = 5,14$  in condizioni U

Indici di rigidezza (condizioni D):

$Ir = \frac{G}{c' + q' \tan \phi}$  = indice di rigidezza

$q'$  = pressione litostatica efficace alla profondità  $D + \frac{B}{2}$

$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$  = modulo elastico tangenziale

$E$  = modulo elastico normale

$\mu$  = coefficiente di Poisson

$Icr = \frac{1}{2} \exp\left[\frac{3,3 - 0,45 \frac{B}{L}}{\tan(45 - \frac{\phi'}{2})}\right]$  = indice di rigidezza critico

Coefficienti di punzonamento (Vesic):

$Yq = Yg = \exp\left[\left(0,6 \frac{B}{L} - 4,4\right) \tan \phi' + \frac{3,07 \sin \phi' \log(2Ir)}{1 + \sin \phi'}\right]$  in condizioni drenate, per  $Ir \leq$

Icr

$Yc = Yq - \frac{1 - Yq}{Nq \times \tan \phi'}$

Coefficienti di inclinazione del carico (Vesic):

$$ig = \left( \frac{1-H}{N + B \times L \times c' \times \cot \text{ang} \phi'} \right)^{m+1}$$

$$iq = \left( \frac{1-H}{N + B \times L \times c' \times \cot \phi'} \right)^m$$

$$ic = iq - \frac{1-iq}{Nc \times \tan \phi'} \quad \text{in condizioni D}$$

$$ic = 1 - \frac{m \times H}{B \times L \times cu \times Nc} \quad \text{in condizioni U}$$

essendo:

$$m = mB \cos^2 \Theta + mL \sin^2 \Theta$$

$$mB = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}} \quad mL = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{1 + \frac{L'}{B'}} \quad \Theta = \tan^{-1} \frac{Fh \times B}{Fh \times L}$$

Coefficienti di affondamento del piano di posa (Brinch-Hansen):

$$dq = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \arctg \frac{D}{B'} \quad \text{per } D > B'$$

$$dq = 1 + 2 \frac{D}{B'} \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \quad \text{per } D \leq B'$$

$$dc = dq - \frac{1-dq}{Nc \times \tan \phi} \quad \text{in condizioni D}$$

$$dc = 1 + 0,4 \arctan \frac{D}{B'} \quad \text{per } D > B' \text{ in condizioni U}$$

$$dc = 1 + 0,4 \frac{D}{B'} \quad \text{per } D \leq B' \text{ in condizioni U}$$

Coefficienti di inclinazione del piano di posa:

$$bg = \exp(-2,7\alpha \tan \phi)$$

$$bc = bq = \exp(-2\alpha \tan \phi) \quad \text{in condizioni D}$$

$$bc = 1 - \frac{\alpha}{147} \quad \text{in condizioni U}$$

$$bq = 1 \quad \text{in condizioni U)}$$

Coefficienti di inclinazione del terreno di fondazione:

$$gc = gq = \sqrt{1 - 0,5 \tan \beta} \quad \text{in condizioni D}$$

$$gc = 1 - \frac{\beta}{147} \quad \text{in condizioni U}$$

$$gq = 1$$

in condizioni U

Coefficienti di forma (De Beer):

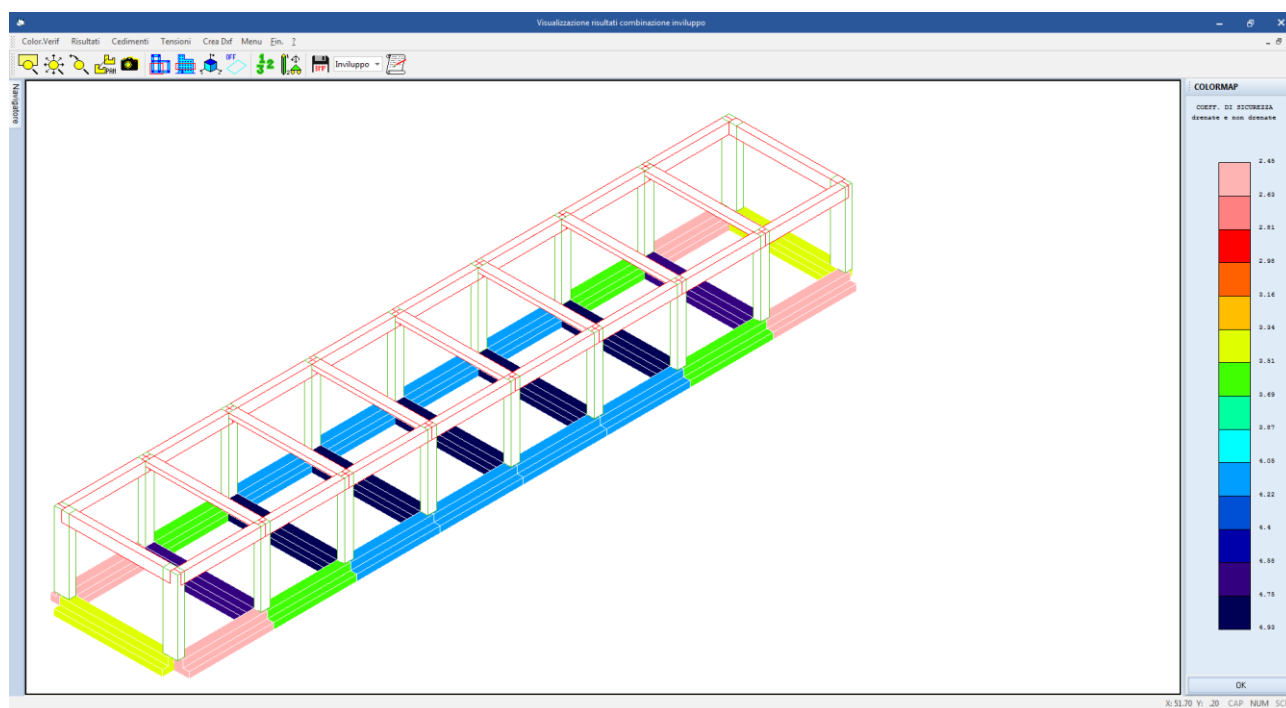
$$sg = 1 - 0,4 \frac{B'}{L'}$$

$$sq = 1 + \frac{B'}{L'} \tan \phi$$

$$sc = 1 + \frac{B' Nq}{L' Nc}$$

L'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella struttura in elevazione (effetto inerziale). Tali effetti dovrebbero essere portati in conto mediante l'introduzione di coefficienti sismici rispettivamente denominati  $K_h$  e  $I_{gk}$ , il primo definito dal rapporto tra le componenti orizzontale e verticale dei carichi trasmessi in fondazione ed il secondo funzione dell'accelerazione massima attesa al sito il tutto secondo le formulazioni proposte da *Paolucci e Peker*.

Nella figura seguente è riportata una colormap dei coefficienti di sicurezza alla portanza delle varie travi di fondazione. **Riscontrando ovunque valori maggiori 1 le verifiche possono ritenersi soddisfatte.**



**Figura 35: colormap coefficienti di sicurezza fondazioni**

## 14 VERIFICA DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

### 14.1 Generalità

Per le pareti di tamponamento esterno dei telai sono realizzati con blocchi di laterizio Porton tipo termoisolati le cui caratteristiche sono riportate al par. 6.2.1.

Per questi elementi non strutturali saranno adottati i magisteri atti ad evitare la possibile espulsione sotto l'azione della Fa (di cui al par. 7.2.3 delle NTC2018) corrispondente allo SL e alla CU considerati nella presente relazione di calcolo.

In particolare i blocchi poroton utilizzati verranno posti in opera interi fino a sotto la trave dove verrà collocato un pezzo speciale di adeguata altezza inserito a viva forza in modo da vincolare la parete alla struttura portante al fine di impedirne il ribaltamento per effetto del sisma.

Verrà poi applicata sia all'interno che all'esterno una rete porta intonaco in fibra di vetro correttamente ancorata e risvoltata che garantisce una sicurezza complessiva che sperimentalmente è di gran lunga superiore a quella derivante dal calcolo.

Si riporta qui di seguito il calcolo di vulnerabilità della specchiatura di parete lunga sul lato esterno del manufatto.

### 14.1.1 Tamponatura esterna s=30cm

Dati Sismici					
Ag/g	F0	Cat. Suolo	Cat. Topo.	Ss	St
0.195	2.472	C	T1	1.411	1.000

Dati Tamponatura						
L	t	H	p	E	fm	W
cm	cm	cm	kN/m <sup>2</sup>	Mpa	Mpa	kN
100	30	354	8	4600	1.84	8.50

Dati struttura			
Z	Hed	T1	Ta
cm	cm	s	s
75	489	0.257	0.039

$$T_a = 2 \pi \left( \frac{\pi}{H} \right)^2 \sqrt{\frac{E I t^3}{12 m}}^{-1}$$
  

Resistenza fuori piano				
op	om	Mp	Mm	Rd
Mpa	Mpa	kNm	kNm	kN
0.028	0.014	1.25	0.63	2.84

$$M_p = \left( \frac{t^2 l \sigma_p}{2} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_p}{0.85 f_m} \right) \quad \sigma_p = \frac{W}{t l}$$

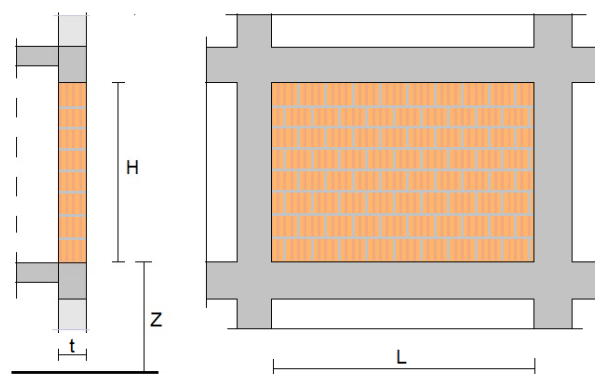
$$M_m = \left( \frac{t^2 l \sigma_m}{2} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_m}{0.85 f_m} \right) \quad \sigma_m = \frac{W}{2 t l}$$

$$R_d = \frac{4}{H} (M_p + 2 M_m)$$
  

PGA e indicatore di rischio	
PGA/g	Ir SLV
0.312	1.135

$$PGA = \frac{R_d q}{W} \left[ \frac{3(1+Z/H)}{1+(1-T_a/T_1)^2} - 0.5 \right]^{-1}$$

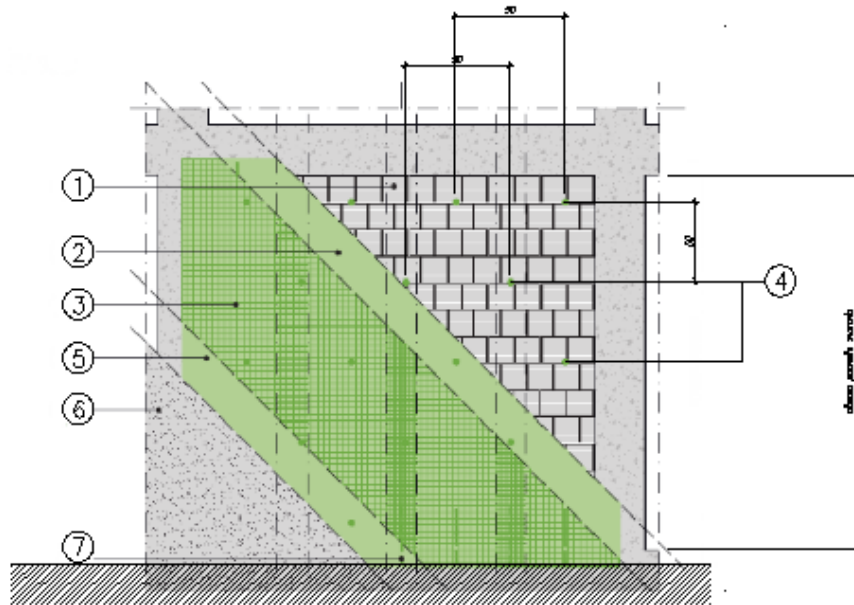
Valutazione della vulnerabilità di tamponature in muratura



La verifica risulta soddisfatta con un coefficiente di sicurezza pari a 1.135 > 1.

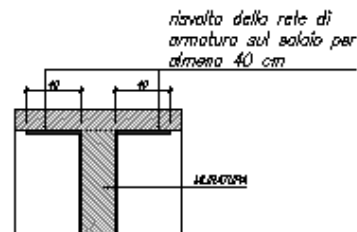
Considerando tuttavia quanto riportato nelle NTC2018 per le tamponature esterne ed i divisori interni (la stabilità **“si può ritenere conseguita con l’inserimento di leggere reti da intonaco sui due lati della muratura, collegate tra loro ed alle strutture circostanti a distanza non superiore a 500 mm sia in direzione orizzontale sia in direzione verticale.”**), si prevede comunque l’inserimento di una rete porta intonaco su tutte le tamponature.

INTERVENTO SU TRAVEZZI E PARETI ESTERNE  
1.26



- ① Preparazione delle superfici.  
Irridimento e bagnatura preventiva dei supporti
- ② Applicazione prima mano di intonaco.  
Applicazione della prima mano di intonaco,  
spessore medio 5 mm
- ③ Installazione della rete bidirezionale termosaldato  
a maglie quadrate bilanciate in fibre di vetro  
alcali-resistente (AR) 22x22mm  
Esecuzione del foro pilota da 8 mm e  
successiva installazione della barra metallica  
passante successivamente ripiegata sulla rete.  
Maglia dei connettori 500x500mm
- ④ Stesura della seconda mano di intonaco  
per ottenere il ricoprimento completo  
dell'intervento
- ⑤ Finitura superficiale
- ⑥ Connessione in testa ed al piede della muratura  
mediante rievolo su solaio o prolungamento ed  
ancoraggio sul bordo di travi esterne (v.  
sezione)
- ⑦

DETTAGLIO CONNESSIONE IN TESTA ALLA MURATURA  
1.26



## 14.2 Soletta interna pavimento flottante

Internamente al fabbricato è prevista una soletta armata dello spessore di 20 cm sopra la quale verrà posizionato, all'occorrenza, un pavimento flottante della capacità di carico di 12,00kN/mq realizzato con piedini plastici disposti ad interasse 60x60 cm. Il piedino alla base presenta un disco di appoggio del diametro di 10 cm, su di esso grava quindi una azione pari a:

$$N_{Ed} = 4.32 \text{ kN}$$

Tale azione si assume diffondersi entro la soletta di 20 cm con un angolo diffusione di 45° che quindi realizza un'area di contatto al suolo di superficie:

$$A = 0.25^2 \pi = 0.196 \text{ mq}$$

E quindi una pressione  $p = N_{Ed} / A = 22 \text{ kN/mq}$

Si assume nella soletta la presenza di una armatura pari all'1.0% della sezione retta della soletta e la realizzazione con un calcestruzzo C25/30.

Eseguendo la verifica risulta.

Verifica di punzonamento per pilastro rotondo interno (**soletta**)

Carico di punzonamento	$V_{Ed}$	=	4.3 kN
Aumento del carico	$\beta$	=	1.15
Pressione al suolo	$\sigma_{gd}$	=	22.0 kN/m <sup>2</sup>
Spessore soletta	$h$	=	20 cm
Altezza statica	$d$	=	12 cm
Diametro pilastro	$\emptyset$	=	10 cm
Profondità di penetrazione pilastro	$h_a$	=	0 cm
Copriferro alto / parte inferiore	$c_{nom,o} / c_{nom,u}$	=	4 cm / 4 cm
Beton / Acciaio d'armatura / HDB		=	C25/30 / $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$ / B500
Tasso d'armatura	$\rho_l (< 2.0 \%)$	=	1.0 % ( $a_{sx} = a_{sy} = 12.0 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Nella sezione di verifica critica. u

distance to the control perimeter acrit		=	12 cm (1.0 d)
area inside the critical perimeter Acrit		=	0.0908 m <sup>2</sup>
u (12 cm)		=	106.8 cm
$k = \min \{ 1 + \sqrt{200/d[\text{mm}]} ; 2 \}$		=	2.00
Pre-factor for $v_{Rd,c,1}$	$C_{Rd,c}$	=	0.12
$v_{Rd,c,1} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f)^{1/3} \cdot 2d/a$		=	1403.53 kN/m <sup>2</sup>
$v_{Rd,c,2} = v_{min} = 0.0525 f_{ct} \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \cdot 2d/a_{crit}$		=	989.95 kN/m <sup>2</sup>
$V_{Rd,c} + \beta \cdot \frac{V_{Ed}}{A} = \max \{ v_{Rd,c,1} ; v_{Rd,c,2} \} \cdot u \cdot d + \cdot 0.5 \cdot A_{crit} \cdot \sigma_{gd} = 181.0 \text{ kN} > 5.0 \text{ kN} = V_{Ed} \cdot \beta$			

Maximum allowed punching shear (web-crushing limit) at the periphery of the column (EN 1992-1-1, section 6.4.3(2)):

$$V_{Rd,max,u0} = 0.4 \cdot f_{cd} \cdot u \cdot d + A_{St,u0} \cdot \sigma_{St,u0} = 135.9 \text{ kN}$$

Non è necessaria nessuna armatura di punzonamento

La verifica risulta soddisfatta senza necessità di armature specifiche a punzonamento.

## 15 GIUDIZIO MOTIVATO ACCETTABILITA' DEI RISULTATI

A titolo di esempio viene determinata in modo “manuale” l'entità del tagliante sismico al piede dell'edificio.

Tenendo conto dei periodi propri della struttura, è possibile determinare il prodotto tra l'accelerazione spettrale  $S_e$  e la massa modale eccitata  $W$  di ogni singolo periodo per ogni direzione di ingresso del sisma ottenendo un “tagliante” per le due direzioni principali  $X$  e  $Y$ .

Nella tabella che segue il calcolo è eseguito per lo **spettro elastico normalizzato** scalato per il fattore di struttura  $q$  utilizzato nel calcolo globale della struttura

FREQUENZE E MASSE ECCITATE									
Modo	Pulsazione	Periodo	Spettro di progetto X	Spettro di progetto Y	SISMA X		SISMA Y		
					Massa Mod	W x Se	Massa Mod	W x Se	
N.ro	(rad/sec)	(sec)	SLV	SLV	Ecc. (t)		Ecc. (t)		
1	23.522	0.26712	0.339	0.339	0	0.000	241.86	81.991	
2	33.565	0.18719	0.339	0.339	0	0.000	0	0.000	
3	41.301	0.15213	0.336	0.336	241.87	81.268	0	0.000	
					<b>TOTALE</b>	<b>81.268</b>		<b>81.991</b>	

Nelle celle “TOTALE” per ogni direzione di ingresso del sisma è riportato il risultato della combinazione SRSS delle componenti  $W \times S_e$  determinate per ogni modo ovvero:

$$TOT = \sqrt{(\sum_i E^2)}$$

Il tagliante sismico determinato in automatico dal programma è pari a:

VARIAZIONI MASSE E RIGIDENZE DI PIANO															
				DIREZIONE X						DIREZIONE Y					
Piano N.ro	Quota (m)	Peso (t)	Variaz. (%)	Tagliante Comb.(t)	Tagliante modale(t)	Spost. (mm)	Klat. (t/m)	Variaz (%)	Teta	Tagliante Comb.(t)	Tagliante modale(t)	Spost. (mm)	Klat. (t/m)	Variaz (%)	Teta
1	4.14	241.86	0.0	81.22	81.22	1.93	42056	0.0	0.006	81.89	81.89	6.00	13641	0.0	0.012

Quindi dei rapporti tra tagliante calcolato “manualmente” e tagliante automatico da software pari a:

- Direzione X =  $81.22/81.27 = 99.9\%$
- Direzione Y =  $81.99/81.99 = 100\%$

Il confronto può definirsi quindi più che positivo.