



PROGETTO DEFINITIVO

REGIMAZIONE IDRAULICA TORRENTE GARZETTA DI COSTALUNGA, COLI VAL  
BOTTESSA E VAL BARBISONA

*Elaborato*  
**n. T05**

**RELAZIONE STRUTTURALE DEL TOMBOTTO IN VAL DI FASSA**

*Aggiornamenti*

**DATA**

**OGGETTO**

*Ottobre 2020*

*Prima stesura*

**IL GRUPPO DI  
PROGETTAZIONE A.T.I.**

*Ing. Landrini Girolamo  
Ing. Bondioni Matteo  
Dott. forestale Donati Christian  
Geologo Salvetti Luigi P. N.*

**IL RESPONSABILE DEL  
PROCEDIMENTO**

## **Descrizione generale dell'opera e sua collocazione sul territorio**

Le strutture oggetto d'analisi sono quelle relative al ponte (tombino) sul ramo sud del Torrente Garzetta nel Comune di Brescia, sito in via Val di Fassa, a quota 180.00 m s.l.m. circa, necessario per consentire l'attraversamento del torrente stesso.

Le caratteristiche geometriche del nuovo manufatto, indicate nell'elaborato grafico B.6, sono trasversalmente di 5,85 ml, mentre, longitudinalmente, le dimensioni sono vincolate da quelle dell'alveo del torrente e pari a 10,30 ml.

Il tombino è costituito da una platea in c.a. dallo spessore di 50 cm ed inclinata verso il centro dell'alveo con una pendenza del 10% per favorire il deflusso concentrato dell'acqua.

Anche le spalle laterali sono state previste in c.a. con un'altezza di circa 2,50 m e uno spessore variabile da 40 cm in sommità a 65 cm alla base.

Le spalle sono poste a sostegno di un impalcato gettato in opera (sp. 50 cm) con pianta di dimensioni pari a 4,58 x 9,02 m circa e luce di calco pari a 8,50 ml.

La soletta viene considerata in semplice appoggio sulle due spalle laterali.

Il manufatto è sghembo per adattarsi alla situazione geometrica del posto.

La platea e le spalle saranno rivestite in pietrame.

### **Il modello strutturale**

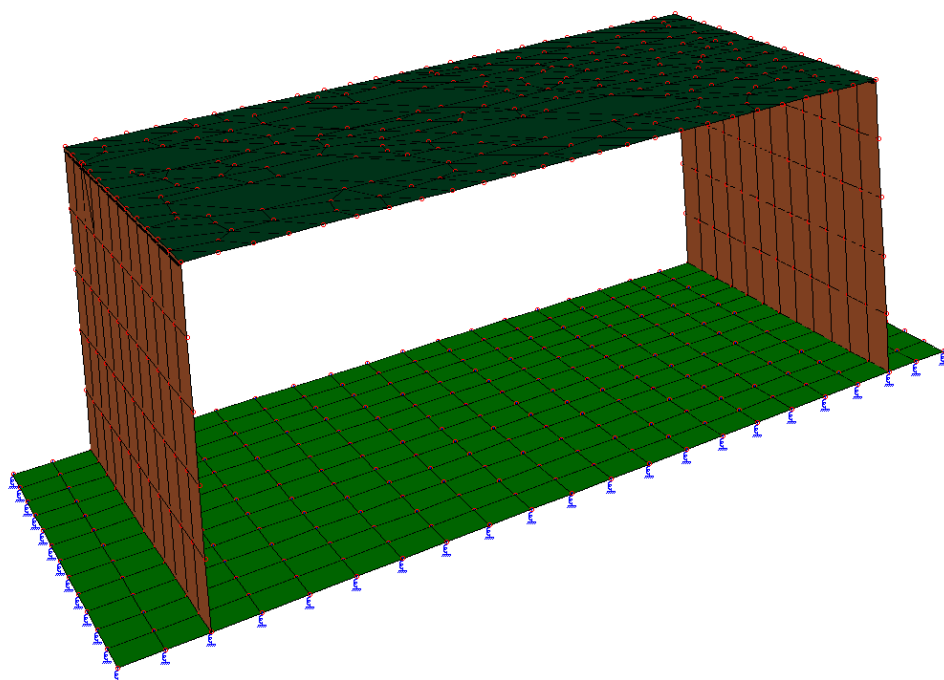
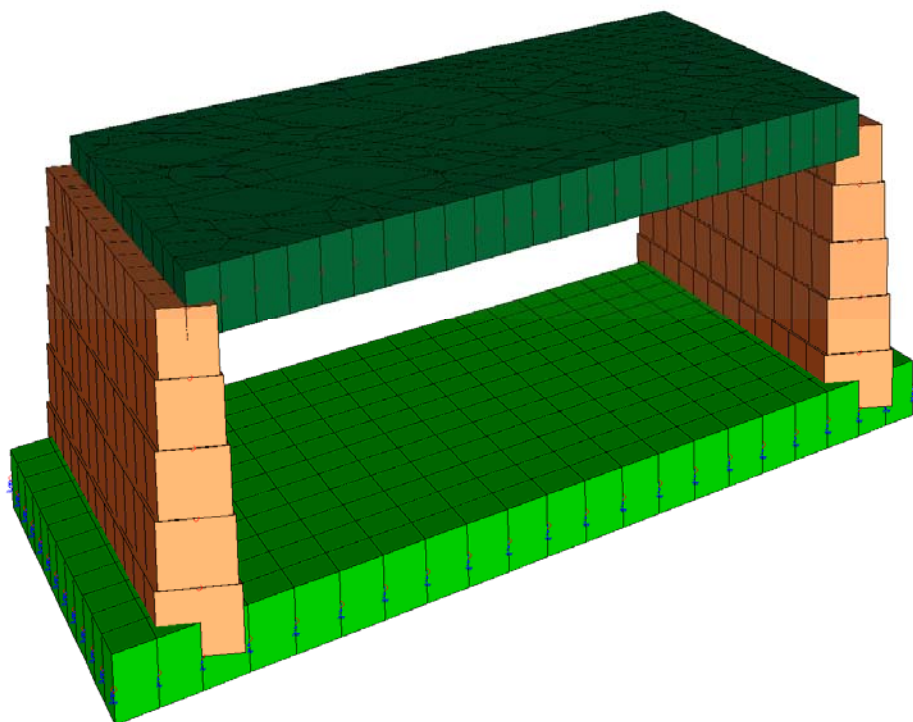
La struttura è stata analizzata agli elementi finiti per simulare il comportamento dei principali elementi che caratterizzano il tombino in oggetto al fine del loro dimensionamento.

Per poter applicare i carichi da traffico nelle opportune posizioni, la soletta di impalcato è stata modellata come un unico elemento "piastra" dallo spessore di 50 cm, in cui si sono individuate con esattezza le impronte degli pneumatici ed i relativi carichi, seguendo le indicazioni del Capitolo 5 delle NTC relativo alla progettazione dei Ponti.

Infine, la platea di fondazione, è stata simulata mediante "gusci" dallo spessore di 50 cm, vincolati a terra mediante molle alla winkler.

### **La sismica**

Per tenere conto dell'azione sismica agente sulla struttura, è stata effettuata un'analisi *Dinamica Modale*.



*Viste prospettive del tombino agli elementi finiti (solida e unifilare)*

## Tipo e caratteristiche dei materiali strutturali

### CALCESTRUZZI

Riferimenti: D.M. 17.01.2018.

Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale;

UNI EN 206-1/2016;

<b>Tipologia strutturale:</b>	<b>Fondazioni / Spalle Laterali / Soletta</b>
Classe di resistenza necessaria ai fini statici:	C28/35 N/mm <sup>2</sup> (Rck 350 daN/cm <sup>2</sup> )
Condizioni ambientali:	<i>Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo</i>
Classe di esposizione:	XC1/XC2
Rapporto acqua/cemento max:	0.55
Classe di consistenza:	S4/S5
Diametro massimo aggregati:	32 mm
Minimo contenuto di cemento:	320 kg/m <sup>3</sup>

Si ricorda che le caratteristiche utilizzate ai soli fini statici potrebbero, nelle prescrizioni progettuali, essere migliorate.

### **Prescrizione per il disarmo**

Per ogni porzione di struttura, il disarmo non può essere eseguito se non previa autorizzazione della Direzione Lavori.

### **Provini da prelevarsi in cantiere**

n° 2 cubi di lato 15 cm;

un prelievo ogni 100 mc. Per ogni giorno di getto va comunque effettuato almeno un prelievo.

$$\sigma_{c28} \geq 3 * \sigma_c \text{ adm};$$

$$R_{ck} 28 = R_m - 35 \text{ kg/cm}^2;$$

$$R_{min} > R_{ck} - 35 \text{ kg/cm}^2$$

È obbligatorio eseguire i prelievi e le prove sui cubetti secondo quanto prescritto nel Capitolo 11 delle N.T.C. 2018:

- Un prelievo consiste nel prelevare dagli impasti, al momento della posa in opera ed alla presenza del Direttore dei Lavori o di persona di sua fiducia, il calcestruzzo necessario per la confezione di un gruppo di due provini.

- Il controllo di accettazione è eseguito dal Direttore dei Lavori su ciascuna miscela omogenea e si configura, in funzione del quantitativo di calcestruzzo in accettazione, nel:

- controllo di tipo A di cui al § 11.2.5.1;

Prospetto classi di esposizione e composizione uni en 206-1

Classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione	UNI 9858	A/C MAX	R'ck min.	Dos. Min. Cem. KG.
--------	---------------------------	--	----------	---------	-----------	--------------------

1 Assenza di rischio di corrosione o attacco						
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto ad cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasioni, gelo o attacco chimico	1	---	15	---

2 Corrosione indotta da carbonatazione						
Nota – Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro e nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante, in questi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo ed il suo ambiente.						
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa o immerse in acqua	2a	0,60	30	300
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.	2a	0,60	30	300
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia o in interni con umidità da moderata ad alta	5a	0,55	35	320
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette ad alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani.	4a, 5b	0,50	40	340

3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare						
XD1	Umidità moderata	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri	5a	0,55	35	320
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua industriali contenente cloruri (piscine)	4a, 5b	0,50	40	340
XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Calcestruzzo armato o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.	5c	0,45	45	360

4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare						
XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità	4a, 5b	0,50	40	340
XS2	Permanentemente sommerso	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immersa in acqua	5c	0,45	45	360
XS3	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare	5c	0,45	45	360

5 Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza disgelanti *(NB XF2 - XF3 - XF4 contenuto minimo aria 3%)						
XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante	Superfici verticali di calcestruzzo come facciate o colonne esposte alla pioggia ed al gelo. Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo, alla pioggia o all'acqua	4a, 5b	0,50	40	320
XF2*	Moderata saturazione d'acqua in presenza di agente disgelante	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti	3, 4b	0,50	30	340
XF3*	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetti ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo	2b, 4b	0,50	30	340
XF4*	Elevata saturazione d'acqua con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto od indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare	3, 4b	0,45	35	360

6 Attacco chimico **)						
XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contenitori di fanghi e vasche di decantazione. Contenitori e vasche per acqua reflue	5a	0,55	35	320
XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi	5b	0,50	40	340
XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di acqua industriali fortemente aggressive. Contenitori di foraggi, mangimi e liquami provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi e gas di scarico industriali.	5c	0,45	45	360

\*) il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione: *moderato* occasionalmente gelato in condizioni di saturazione; *elevato* alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione.

\*\*) da parte di acque del terreno o acqua fluenti

## Acciaio per C.A.

(Rif. D.M. 17.01.2018, par. 11.3.2)

Acciaio per C.A. B450C	
$f_{yk}$ tensione nominale di snervamento:	$\geq 4580 \text{ kg/cm}^2 (\geq 450 \text{ N/mm}^2)$
$f_{tk}$ tensione nominale di rottura:	$\geq 5500 \text{ kg/cm}^2 (\geq 540 \text{ N/mm}^2)$
$f_{td}$ tensione di progetto a rottura:	$f_{yk} / \gamma_S = f_{yk} / 1.15 = 3980 \text{ kg/cm}^2 (= 391 \text{ N/mm}^2)$

L'acciaio dovrà rispettare i seguenti rapporti:

$$f_y / f_{yk} < 1.35 \quad f_t / f_y \geq 1.15$$

Diametro delle barre:  $6 \leq \phi \leq 40 \text{ mm}$ .

E' ammesso l'uso di acciai forniti in rotoli per diametri  $\leq 16 \text{ mm}$ .

Reti e tralicci con elementi base di diametro  $6 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$ .

Rapporto tra i diametri delle barre componenti reti e tralicci:  $\phi_{\min} / \phi_{\max} \geq 0.6$

## Le azioni applicate alla struttura

Le azioni applicate al modello strutturale per la sua verifica (comma da par. 5.1.3 delle NTC18) sono le seguenti:

### **AZIONI PERMANENTI**

- (g1) peso proprio calcestruzzo 2500 kg/mc
- (g2) carichi permanenti portati (asfalto, guaina d'impermeabilizzazione etc.) 200 kg/mq
- (g3) peso specifico terreno 1800 kg/mc

### **AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO (CARICHI VERTICALI - Q1)**

La categoria del ponte in esame è la **prima**.

**Le corsie:** per l'impalcato oggetto d'analisi, avendo larghezza minore di 5,50 m, è stata considerata un'unica corsia convenzionale (Tab. 5.1.I NTC18), avente larghezza pari a 3,00 m. la totale larghezza è stata caricata con  $q_{1k}=9,00 \text{ kN/mq}$ .

Tab. 5.1.I - Numero e larghezza delle corsie

Larghezza della superficie carrabile "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40 \text{ m}$	$n_l = 1$	3,00	$(w-3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0 \text{ m}$	$n_l = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_l)$

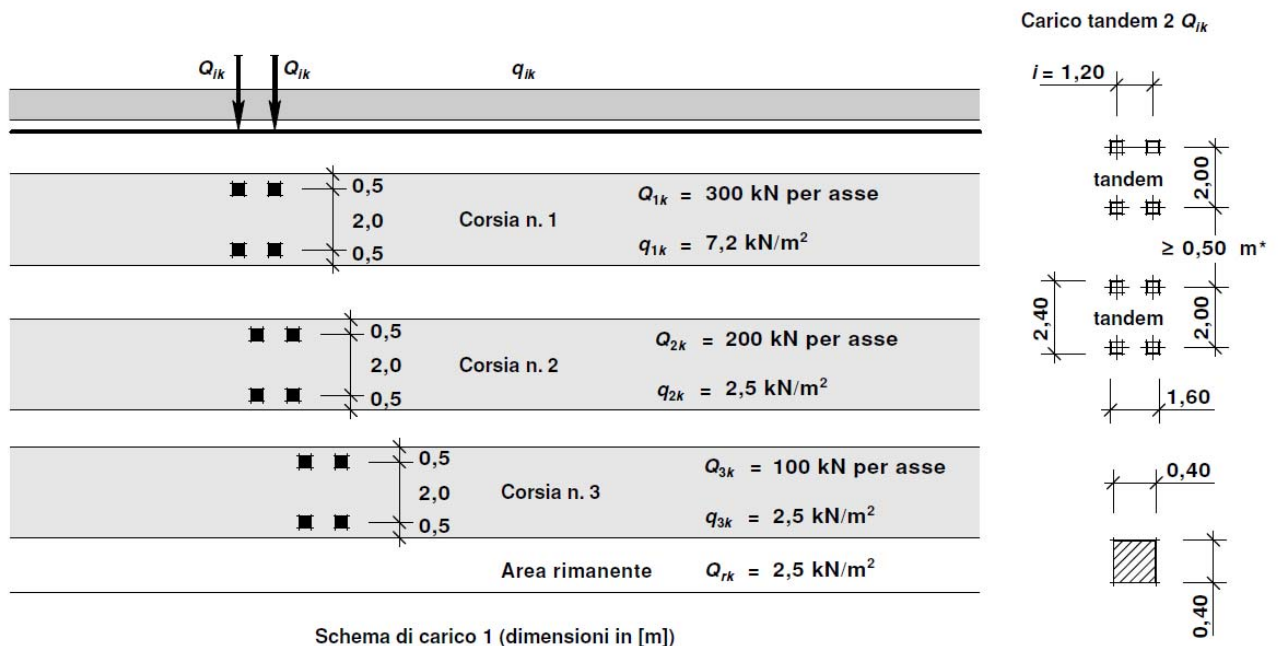
Gli schemi di carico considerati per le azioni legate al traffico veicolare sono i seguenti:

**Schema di carico n° 1 sulla corsia convenzionale n° 1**

Come indicato dalle NTC, per le verifiche globali e locali del ponte in esame, è stato utilizzato lo Schema di carico n°1 che prevede i seguenti carichi applicati sulla corsia convenzionale:

- **Corsia n°1:** sulla quale è stato predisposto lo schema di carico 1 ( $2 \times Q_{1k} = 2 \times 300 \text{ kN} = 600 \text{ kN}$  → carico tandem;  $q_{1k} = 9,00 \text{ kN/mq}$  → carico uniformemente distribuito). La corsia n° 1 è quella che, caricata considerando la predisposizione dei carichi più gravosa, produce l'effetto peggiore per le verifiche che si stanno facendo e viene identificata come Corsia Principale.

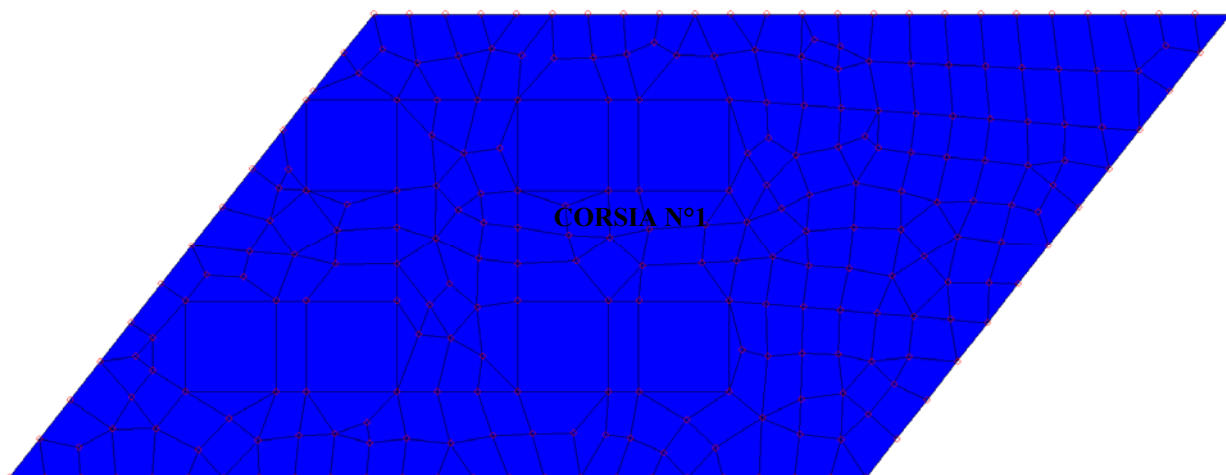
Essendo la larghezza totale dell'impalcato pari a 4,60 m, nella nostra analisi si considera un'unica corsia convenzionale, identificata come Corsia n.1.



Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

\* per  $w_l \leq 2,90 \text{ m}$





*Vista in pianta dell'impalcato che rappresenta la Corsia n.1*

Nel modello, sono stati applicati i corrispettivi valori di carico tandem e di carico uniformemente distribuito.

Nella fattispecie, per ricavare le condizioni più sfavorevoli in mezzeria ed agli appoggi dell'impalcato, i carichi tandem sono stati analizzati nelle 2 diverse posizioni sotto elencate:

- in corrispondenza della mezzeria dell'impalcato (per ricavare la massima flessione);
- in corrispondenza dell'appoggio di sinistra dell'impalcato (per ricavare il taglio massimo);

Essendo la struttura simmetrica, il carico tandem è stato analizzato solo in corrispondenza di un appoggio laterale.

Sempre in accordo a quanto previsto dalle NTC (par. 5.1.3.3.6) si è considerato che la diffusione dei carichi tandem attraverso la soletta dell'impalcato, avvenga secondo un angolo di  $45^\circ$  fino al piano medio della soletta stessa. Trascurando (a favore di sicurezza) lo strato d'asfalto che forma la pavimentazione e tenendo conto dello spessore totale di 50 cm della soletta, è stata ricavata un'impronta di carico di dimensioni pari a 90 cm x 90 cm su cui spalmare il carico tandem.

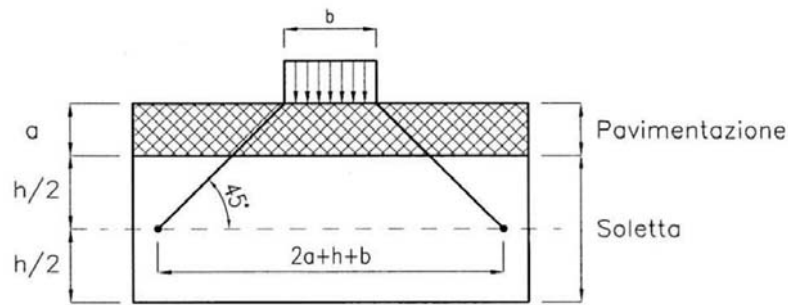
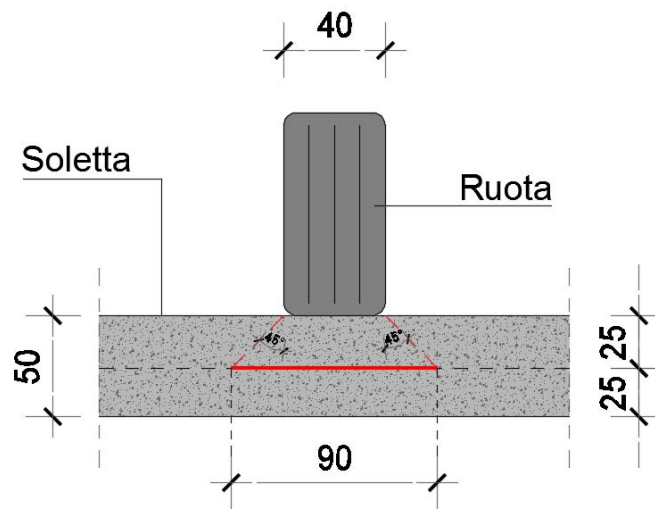


Fig. 5.1.3.a - Diffusione dei carichi concentrati nelle solette



Diffusione dei carichi Tandem nella soletta in progetto

**AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO. AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O DI ACCELERAZIONE ( $q_3$ )**

La forza di frenamento o di accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n° 1 ed è:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

essendo:

$w_1 = 4,60 \text{ m}$  (larghezza della corsia);

$L = 8,50 \text{ m}$  (lunghezza della corsia = luce netta dell'impalcato)

$Q_{1k} = 300 \text{ kN}$  (carico singolo asse tandem su Corsia 1)

$q_{1k} = 9 \text{ kN/mq}$  (carico uniformemente distribuito su Corsia 1)

Si ottiene:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 \times 2 \times 300 \text{ kN} + 0,10 \times 9,00 \text{ kN/mq} \times 4,60 \times 8,50 = 395,19 \text{ kN} \leq 900 \text{ kN}$$

Pertanto l'azione di frenatura  $q_3$  considerata risulta:

$$q_3 = 39519 \text{ kg}$$

Tale azione è stata applicata al modello come un carico di superficie sugli elementi piastra della soletta che individuano la corsia 1. Pertanto la forza risultante di frenatura  $q_3$  è stata "spalmata" sulla superficie dell'impalcato di dimensioni 4,60 m x 8,50 m (luce di calcolo nel modello), col valore pari a:

$$f_3 = q_3 / A_{\text{corsia}} = 39519 \text{ kg} / (460 \text{ cm} \cdot 850 \text{ cm}) = 0.101 \text{ kg/cmq}$$

Questa forza si considera applicata al livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse X della corsia n°1 nella sola direzione +X, (da sinistra verso destra).

Non viene considerato il verso opposto della frenatura in quanto la struttura è simmetrica.

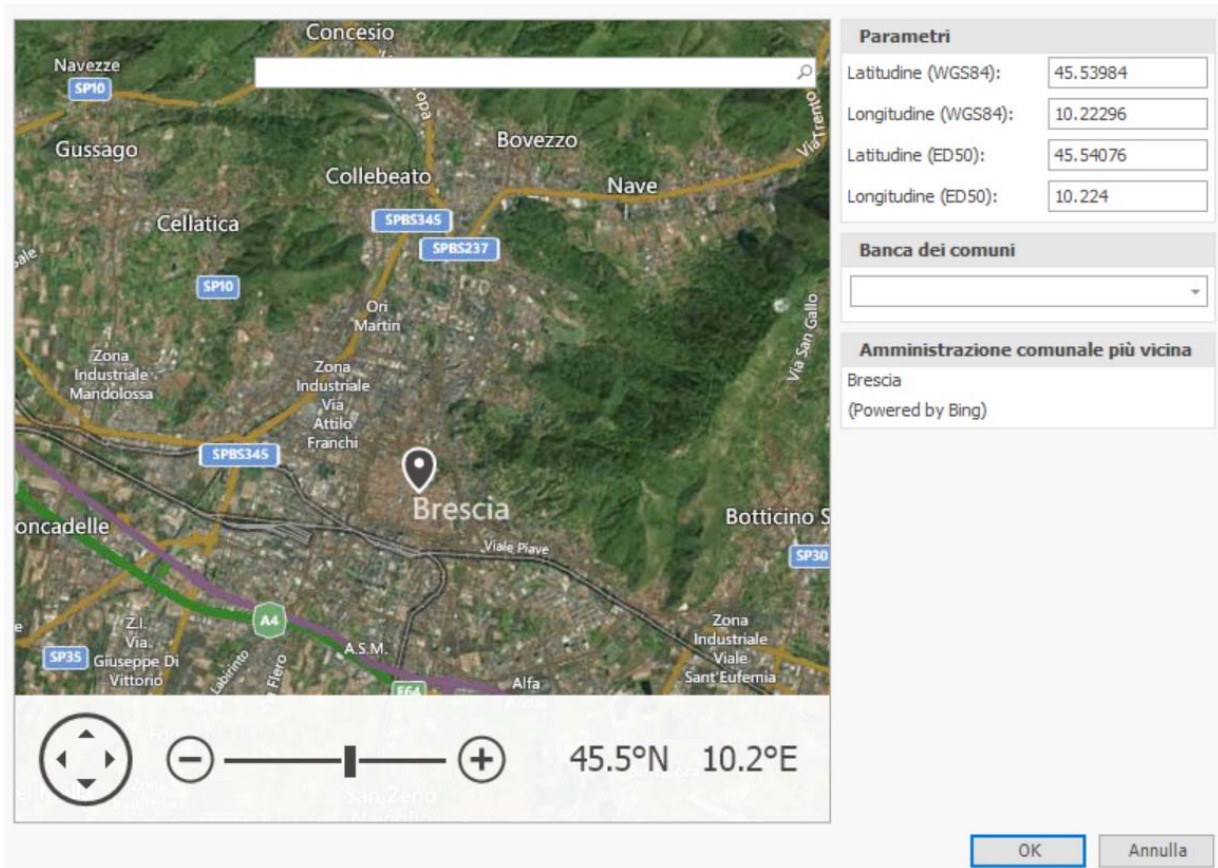
## ***AZIONI SISMICHE***

### **Analisi svolta secondo il D.M. 17.01.2018**

L'azione sismica è stata applicata alla struttura in conformità alle disposizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018).

L'azione sismica è calcolata mediante analisi *dinamica modale*

I parametri che determinano l'azione sismica sono i seguenti:



**INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA**

Nome dell'archivio di lavoro	<b>TOMBINO VALLE FASSA (GARZETTA BS)</b>
Intestazione del lavoro	<b>TOMBINO VALLE FASSA (GARZETTA BS)</b>
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kg
Unita' di misura delle lunghezze	cm
Normativa	NTC-2018

**NORMATIVA**

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	II
Vita di riferimento	50 anni
Luogo	Brescia-Salita della Memoria 2
Longitudine (WGS84)	10.222960
Latitudine (WGS84)	45.539841
Categoria del suolo	B
Fattore topografico	1.0

**PARAMETRI SISMICI**

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag/g*S)
SLO	30	0.0405	2.48	0.21	1.50	1.20	0.477
SLD	50	0.0542	2.45	0.23	1.47	1.20	0.638
SLV	475	0.149	2.43	0.28	1.42	1.20	1.754
SLC	975	0.193	2.45	0.29	1.41	1.20	2.272

Comportamento strutturale NON Dissipativo

**STATO LIMITE ULTIMO**

Coefficiente di smorzamento 5%  
 Eccentricita' accidentale 0%  
 Numero di frequenze 60

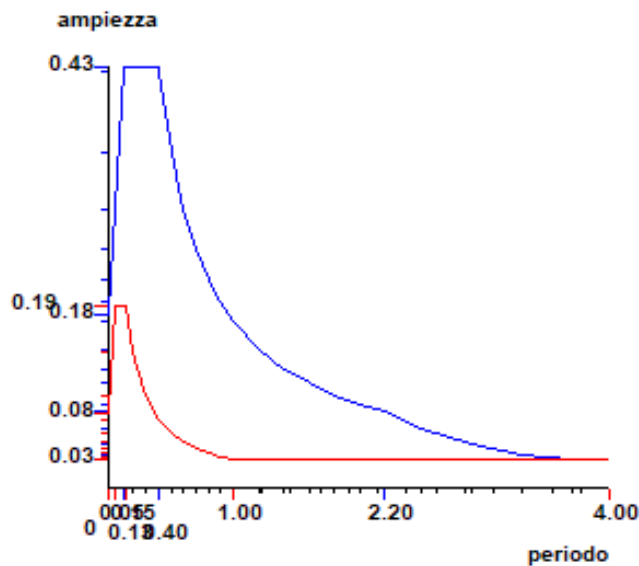
Fattore q di struttura per sisma orizzontale qor=1.0

**PARAMETRI SISMICI**

Angolo del sisma nel piano orizzontale 0  
 Sisma verticale Presente  
 Fattore di struttura qv per sisma verticale 1.0  
 Combinazione dei modi CQC  
 Combinazione componenti azioni sismiche NTC - Eurocodice 8  
 $\lambda$  0.3  
 $\mu$  0.3

Per l'analisi, si è considerato che la struttura abbia un comportamento non dissipativo. Tale analisi risulta in accordo a quanto previsto dal paragrafo 7.2.5 delle NTC2018, per il dimensionamento delle fondazioni.

Avendo optato per un'analisi a comportamento non dissipativo, in accordo al paragrafo 7.3.1. delle NTC18, per i ponti è previsto l'uso di un fattore di comportamento orizzontale  $q_0 = 1,00$  e verticale  $q_v = 1,00$ .



L'azione sismica allo s.l.u. è rappresentata quindi dal seguente spettro di risposta orizzontale (Blu) e spettro di risposta verticale (Rosso), associati allo SLV.

<i>Spettri orizzontali:</i>			<i>Spettro verticale:</i>		
Num.	Periodo	A.slu X	Num.	Periodo	A.slu Z
1	0.000	0.1788	1	0.000	0.0776
2	0.132	0.4345	2	0.050	0.1887
3	0.397	0.4345	3	0.150	0.1887
4	0.400	0.4316	4	0.200	0.1415
5	0.500	0.3452	5	0.300	0.0943
6	0.600	0.2877	6	0.400	0.0708
7	0.700	0.2466	7	0.500	0.0566
8	0.800	0.2158	8	0.600	0.0472
9	0.900	0.1918	9	0.700	0.0404
10	1.000	0.1726	10	0.800	0.0354
11	1.200	0.1439	11	0.900	0.0314
12	1.400	0.1233	12	1.000	0.0298
13	1.600	0.1079	13	1.231	0.0298
14	1.800	0.0959	14	1.462	0.0298
15	2.000	0.0863	15	1.692	0.0298
16	2.196	0.0786	16	1.923	0.0298
17	2.500	0.0607	17	2.154	0.0298
18	2.900	0.0451	18	2.385	0.0298
19	3.300	0.0348	19	2.615	0.0298
20	3.700	0.0298	20	2.846	0.0298
21	4.000	0.0298	21	3.077	0.0298
			22	3.308	0.0298
			23	3.538	0.0298
			24	3.769	0.0298
			25	4.000	0.0298

## Condizioni di carico

Le condizioni di carico utilizzate per la formulazione delle combinazioni di carico per il calcolo della struttura sono quelle di seguito.

- **Condizione n° 0:**

(g1) Peso proprio degli elementi strutturali in cls

Questa condizione è automaticamente messa in conto dalla procedura che applica al volume del materiale della struttura il rispettivo peso specifico di 2500 kg/mc.

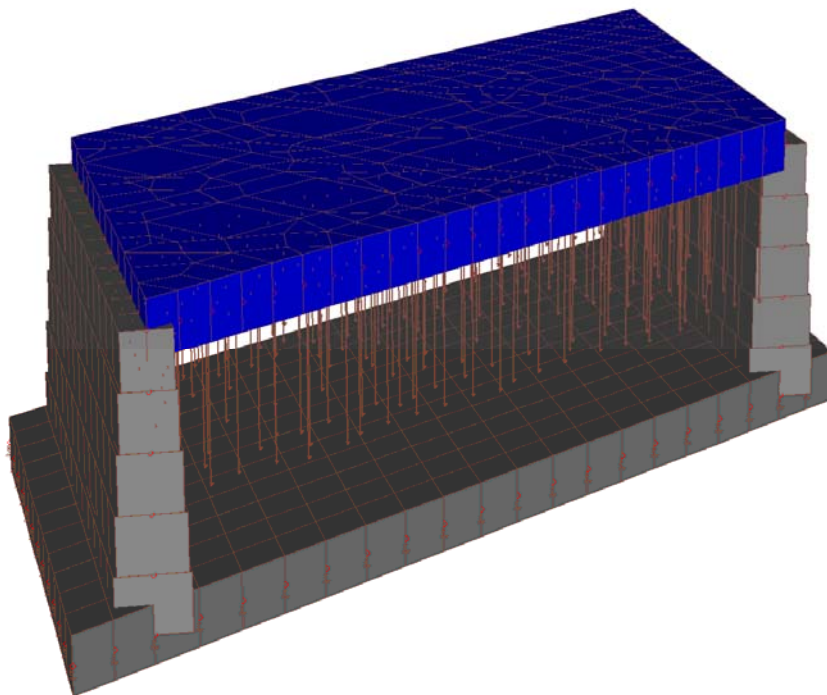
- **Condizione n° 1:**

(g2) Carichi permanenti portati (asfalto, guaina impermeabilizzante, guard-rail etc)

È la condizione che tiene conto dei carichi permanenti portati al di sopra della soletta dell'impalcato del ponte, quantificati con un valore pari a 200 kg/mq.

Tale carico è stato applicato su tutta la soletta del ponte.

$$P1 = 200 \text{ kg/mq}$$



*Condizione di carico n°1 (in colore blu le superfici della soletta caricate)*

• **Condizione n° 2:**

(g3) Spinta statica delle terre sulle spalle

È la condizione che rappresenta la spinta del terreno sulle due spalle del tombino.

Il calcolo della spinta è stato effettuato considerando la condizione di spinta a riposo ed utilizzando i seguenti parametri:

- $\Phi = 30^\circ$  (angolo d'attrito del terreno legato al coeff. M1);
- Coesione nulla;
- $\gamma_t = 1800 \text{ kg/mc}$  (peso specifico terreno);
- $ht = 3.50 \text{ m}$  (altezza totale soggetta a spinta);
- $K_0 = 1 - \sin\Phi = 0.5$  (coeff. di spinta a riposo).

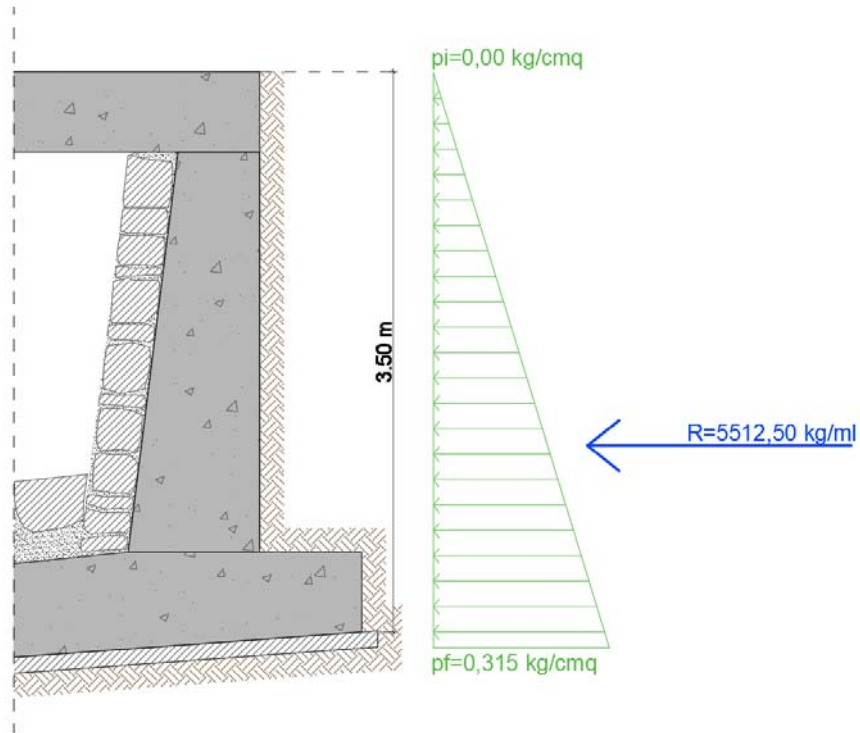
La risultante della spinta al metro lineare è pari a:

$$P2 = St = 0.5 \cdot \gamma_t \cdot K_0 \cdot ht^2 = 0.5 \cdot 1800 \text{ kg/mc} \cdot 0.5 \cdot 3,50^2 \text{ m} = 5512,50 \text{ kg/ml}$$

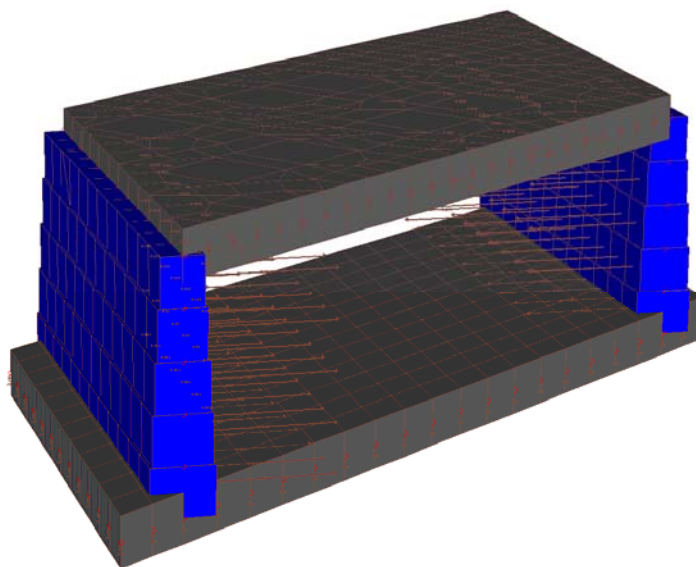
A tale risultante, considerando il diagramma di spinta triangolare del terreno su ciascuna spalla, corrispondono una pressione alla base delle fondazioni ( $p_f$ ) ed una pressione in testa al muro ( $p_i$ ) pari a:

$$p_i = 0.0 \text{ kg/cmq}$$

$$p_f = 0.315 \text{ kg/cmq}$$



I valori di pressione intermedi vengono automaticamente calcolati dalla procedura in funzione dell'altezza del muro.



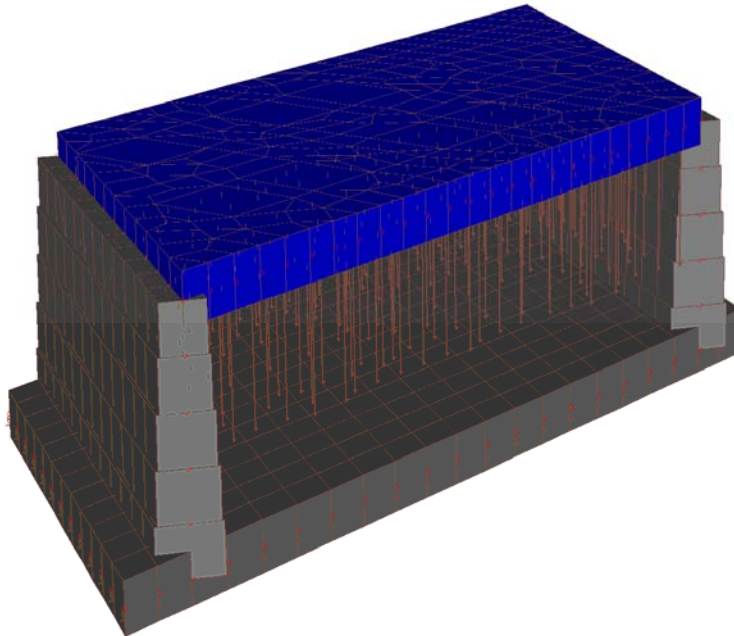
*Condizione di carico n°2 (in colore blu le superfici delle spalle caricate)*



- **Condizione n° 3:**

(q1k) Carico uniformemente distribuito da traffico q1k

È la condizione che tiene conto del carico uniformemente distribuito da traffico  $q1k = 900 \text{ kg/mq}$  per la corsia convenzionale n°1.



**P3 = 900 kg/mq**

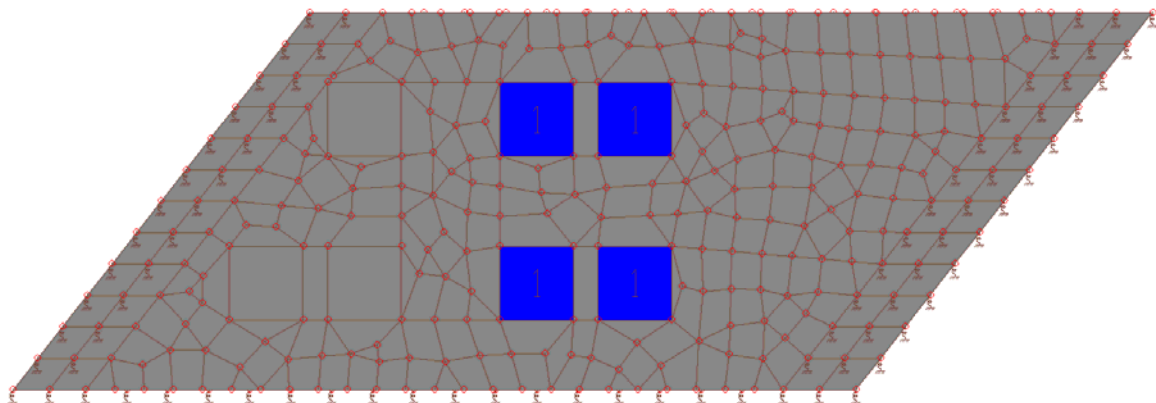
*Condizione di carico n°3 (in colore blu le superfici della soletta caricate)*

- **Condizione n° 4: (flessione massima in mezzeria)**

(Q1k) Carico tandem da traffico Q1k in mezzeria

È la condizione che tiene conto del carico tandem da traffico  $Q1k = 15000 \text{ kg}$  per ogni ruota, su impronta quadrata di lato 90 cm, applicato in mezzeria dell'impalcato.

**P4 = 15000 kg / (90 cm · 90 cm) = 1.85 kg/cm<sup>2</sup>**



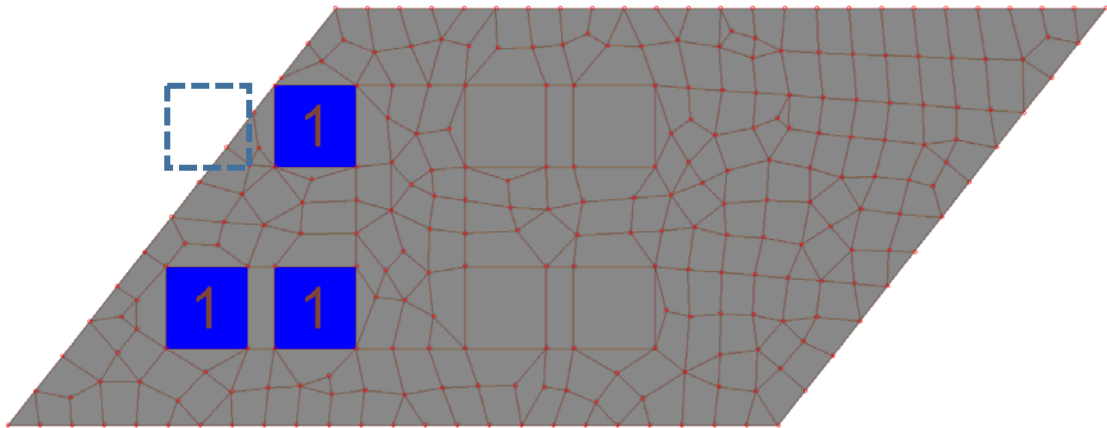
*Condizione di carico n°4 (in colore blu le superfici della soletta caricate)*

- **Condizione n° 5: (taglio massimo all'appoggio)**

(Q1k) Carico tandem da traffico Q1k su appoggio di sinistra

È la condizione che tiene conto del carico tandem da traffico  $Q1k = 15000 \text{ kg}$  per ogni ruota, su impronta quadrata di lato  $90 \text{ cm}$ , applicato sull'appoggio di sinistra dell'impalcato.

$$P5 = 15000 \text{ kg} / (90 \text{ cm} \cdot 90 \text{ cm}) = 1.85 \text{ kg/cm}^2$$



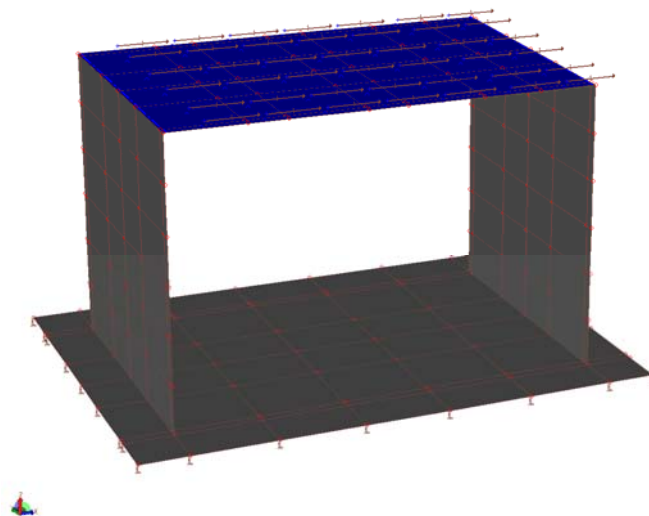
*Condizione di carico n°5 (in colore blu le superfici della soletta caricate)*

**Condizione n° 6:**

(q3) Azione di frenata in direzione +X

È la condizione che tiene conto della forza di frenamento/accelerazione che si sviluppa in direzione +X, applicata sull'impalcato. Il valore di tale forza è stato calcolato in precedenza.

$$P6 = 0.101 \text{ kg/cm}^2$$



*Condizione di carico n°6 (in colore blu le superfici della soletta caricate)*

• **Condizione n° 7:**

(Sq) Spinta delle terre sulle spalle dovuta a carico verticale da traffico su rilevato

È la condizione che rappresenta la spinta del terreno sulle due spalle del tombino, dovuta alla presenza dei carichi verticali da traffico associati allo schema 1, i quali, in accordo al punto C.5.1.3.3.5.1. delle NTC, per quanto riguarda i carichi Tandem, vengono sostituiti da un carico uniformemente distribuito equivalente applicato su di una superficie rettangolare larga 3,00 m e lunga 2,20 m. Il carico totale “q” sul rilevato risulta pari a 9991 kg/mq, infatti:

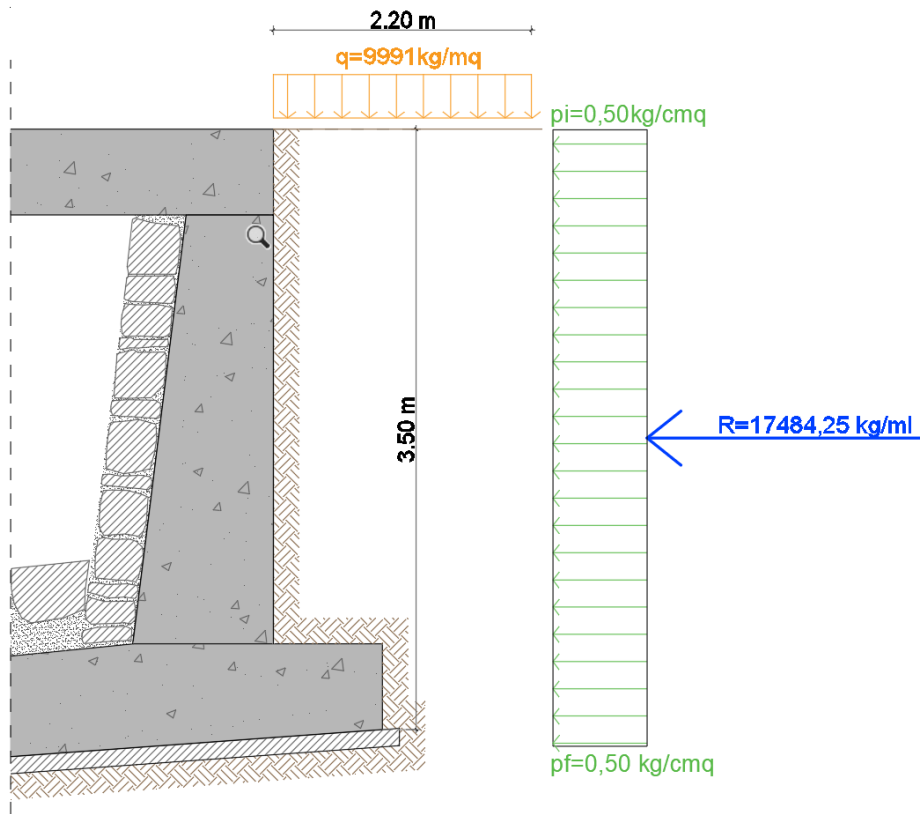
$$q = q_1k + 2 \cdot Q_1k / (3,00 \text{ m} \cdot 2,20 \text{ m}) = 900 \text{ kg/mq} + 2 \cdot 30000 \text{ kg} / 6,6 \text{ mq} = 900 \text{ kg/mq} + 9091 \text{ kg/mq} = 9991 \text{ kg/mq}$$

Il calcolo della spinta è stato effettuato considerando la condizione di spinta a riposo ed utilizzando i seguenti parametri:

- $\gamma_t = 1800 \text{ kg/mc}$  (peso specifico terreno);
- $h_t = 3,50 \text{ m}$  (altezza totale soggetta a spinta);
- $K_0 = 1 - \sin\Phi = 0.5$  (coeff. di spinta a riposo).
- $q = 9991 \text{ kg/mq}$  (sovraccarico veicolare sul terreno a tergo del muro)

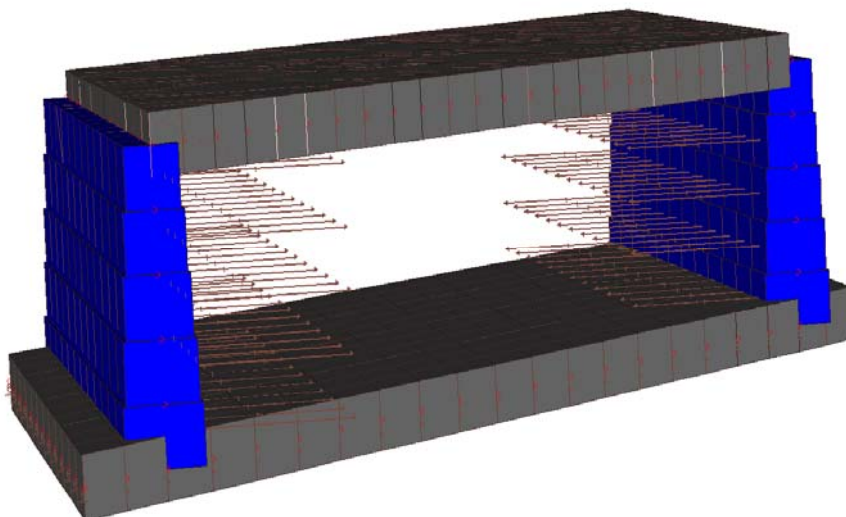
La risultante della spinta al metro lineare di spalla è pari a:

$$S_q = q \cdot K_0 \cdot h = 9991 \text{ kg/mq} \cdot 0.5 \cdot 3.5 \text{ m} = 17484.25 \text{ kg/ml}$$



A tale risultante, considerando il diagramma di spinta rettangolare del terreno su ciascuna spalla, corrispondono una pressione alla base delle fondazioni (pf) ed una pressione in testa al muro (pi) uguali e pari a:

$$p_i = p_f = 0.50 \text{ kg/cmq}$$



*Condizione di carico n°7 (in colore blu le superfici delle spalle caricate)*

- **Condizione n° 8:**

(Se) Spinta sismica delle terre sulle spalle

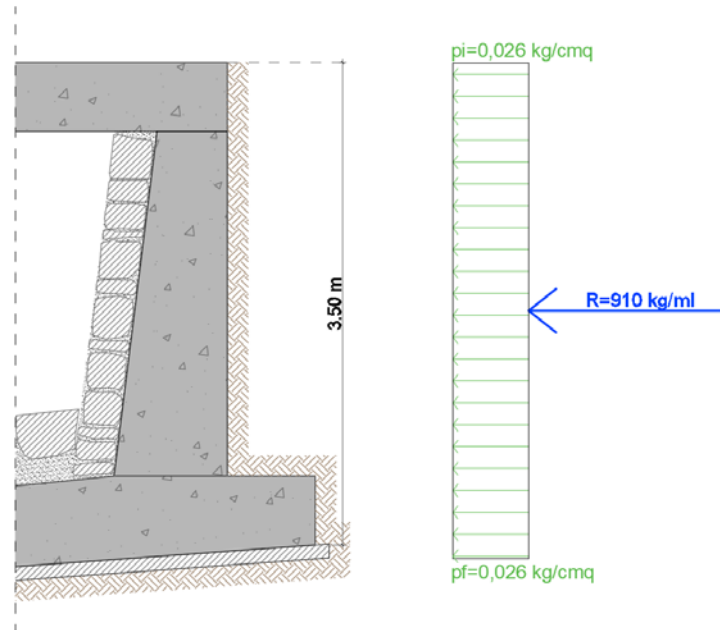
È la condizione che rappresenta l'incremento di spinta del terreno dovuto al sisma, sulle due spalle del tombino.

Il calcolo della spinta è stato effettuato, utilizzando un apposito software di calcolo, considerando la condizione di spinta a riposo ed utilizzando i seguenti parametri, in accordo al paragrafo 7.11.6.2 delle NTC18:

- $\Phi = 30^\circ$  (angolo d'attrito del terreno legato al coeff. M1);
- Coesione nulla;
- $\gamma_t = 1800 \text{ kg/mc}$  (peso specifico terreno);
- $h_t = 3.50 \text{ m}$  (altezza totale soggetta a spinta);
- $K_0 = 1 - \sin\Phi = 0.5$  (coeff. di spinta a riposo).
- $\beta_m = 1.00$  (si è considerato una traslazione impedita per la struttura in esame)

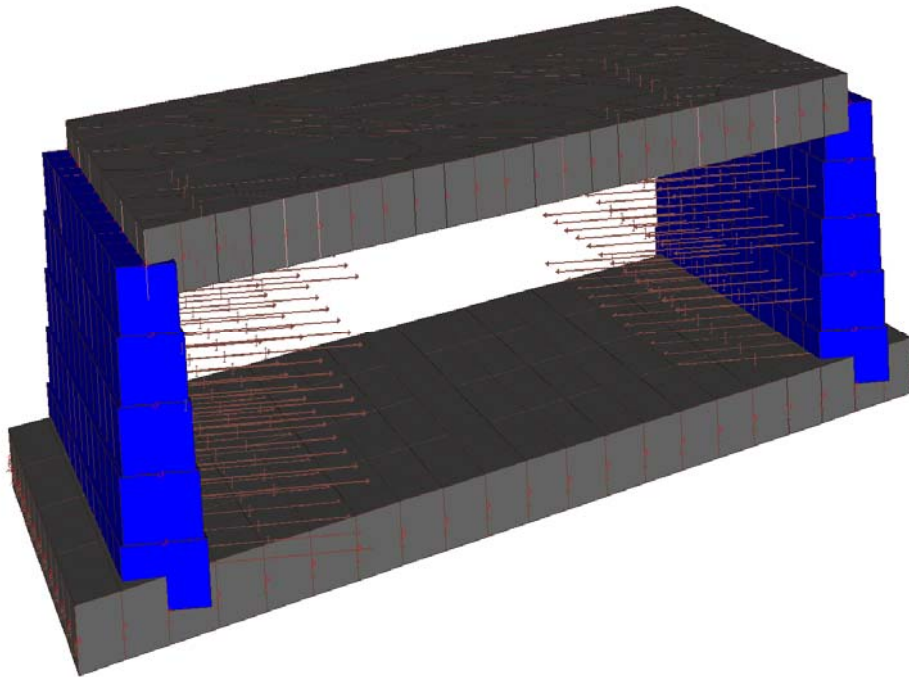
La risultante della spinta sismica al metro lineare di spalla è pari a:

$$P_8 = 910 \text{ kg/ml}$$



A tale risultante, considerando il diagramma di spinta rettangolare del terreno (poiché i muri non sono liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno) su ciascuna spalla, corrisponde una pressione alla base delle fondazioni ( $p_f$ ) ed una pressione in testa al muro ( $p_i$ ) pari a:

$$p_i = p_f = 0.026 \text{ kg/cmq}$$



*Condizione di carico n°8 (in colore blu le superfici delle spalle caricate)*

• **Condizione n° 9:**

(pt) Peso portato del terreno sui dadi di fondazione retrostanti

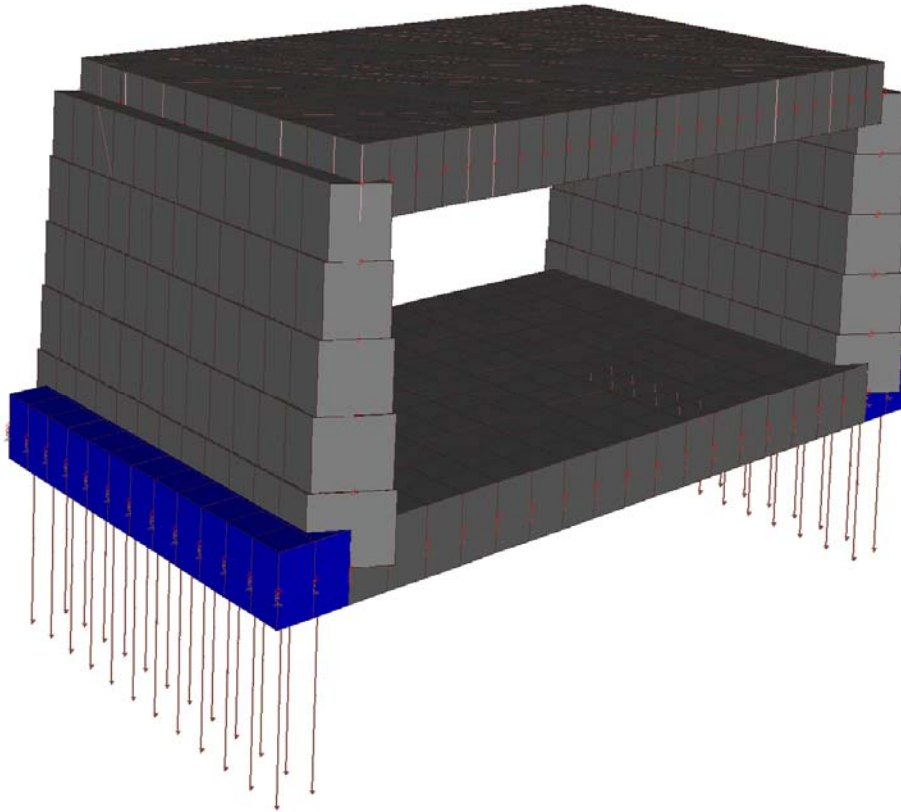
È la condizione che tiene conto del peso del terreno sui dadi della platea di fondazione.

Il calcolo del carico da applicare ai dadi di fondazione è stato effettuato utilizzando i seguenti parametri.

- $\gamma_t = 1800 \text{ kg/mc}$  (peso specifico terreno);
- $h_t = 3.0 \text{ m}$  (altezza del terreno che grava sulla fondazione)

La pressione d'applicare ai dadi di fondazione è pari a:

$$p_t = \gamma_t \cdot h_t = \mathbf{0.54 \text{ kg/cmq}}$$



*Condizione di carico n°9 (in colore blu le superfici della platea caricate)*

- **Condizione n° 10:**

(pt) Peso portato del rivestimento sulla platea di fondazione

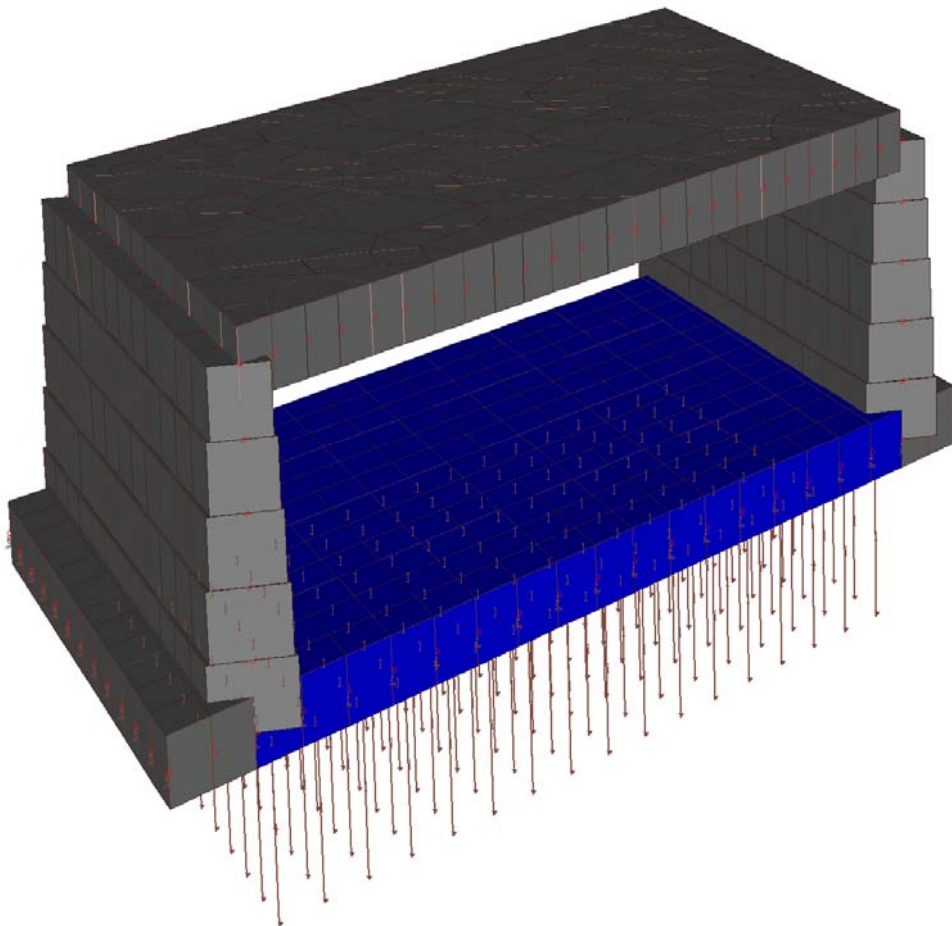
È la condizione che tiene conto del peso del rivestimento sulla platea di fondazione.

Il calcolo del carico da applicare alla platea è stato effettuato utilizzando i seguenti parametri.

- $\gamma_r = 2000 \text{ kg/mc}$  (peso specifico terreno);
- $h_r = 0.40 \text{ m}$  (spessore roccia che grava sulla fondazione)

La pressione d'applicare alla platea di fondazione è pari a:

$$p_t = \gamma_r \cdot h_r = 0.08 \text{ kg/cmq}$$



*Condizione di carico n°10 (in colore blu le superfici della platea caricate)*

## Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico da considerare ai fini delle verifiche devono essere stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al Cap. 2 delle NTC.

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, si dovranno considerare, generalmente, le combinazioni riportate in Tab. 5.1.IV.

Tab. 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5KN/m <sup>2</sup>
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m <sup>2</sup>
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m <sup>2</sup>
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(\*) Ponti pedonali  
 (\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
 (\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

La Tab. 5.1.V, con riferimento al § 2.6.1 delle NTC, fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi.

Altri valori di coefficienti parziali sono riportati nel Capitolo 4 con riferimento a particolari azioni specifiche dei diversi materiali.

I valori dei coefficienti di combinazione  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tab. 5.1.VI.



Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

 Tab. 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\Psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

**Le combinazioni di carico più significative sono:**

$$\bullet \text{ S.L.U. : } \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{QK1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Q_{K3} ;$$

per i valori dei coefficienti di combinazione  $\gamma_{Gi}$  e  $\Psi_{0i}$  si rimanda alle tabelle Tab. 5.1.V e Tab. 5.1.VI.

Le combinazioni agli SLU analizzate sono risultate pari a 7, e sono state analizzate tutte le possibili interazioni agenti sulla corsia convenzionale tali da generare gli effetti più sfavorevoli per il dimensionamento della struttura.

Per quanto riguarda le combinazioni che coinvolgono le azioni da traffico, si è tenuto conto dei gruppi di azioni come previsto dalla Tab. 5.1.V nel seguente modo:

- Combinazione n°1: tiene conto dell'azione dei soli carichi permanenti verticali;
- Combinazione n°2: tiene conto dell'azione di tutti i carichi permanenti, comprese le spinte orizzontali delle terre sulle spalle;
- Combinazione n°3: fa riferimento al gruppo d'azioni n°1 della Tab. 5.1.IV, in cui si considerano i valori caratteristici dei soli carichi verticali da traffico; questa combinazione presenta i carichi Tandem disposti in mezzeria all'impalcato per trovare la sua massima flessione;
- Combinazione n°4: fa riferimento al gruppo d'azioni n°1 della Tab. 5.1.IV, in cui si considerano i valori caratteristici dei soli carichi verticali da traffico; questa combinazione presenta i carichi Tandem disposti all'appoggio sinistro dell'impalcato per trovare il massimo valore del taglio;
- Combinazione n°5: fa riferimento al gruppo d'azioni n°2a della Tab. 5.1.IV, in cui si considerano i valori caratteristici dei carichi orizzontali da traffico in contemporanea ai valori frequenti dei carichi verticali da traffico; questa combinazione presenta l'azione di frenatura combinata ai carichi Tandem disposti in mezzeria all'impalcato;
- Combinazione n°6: fa riferimento al gruppo d'azioni n°2a della Tab. 5.1.IV, in cui si considerano i valori caratteristici dei carichi orizzontali da traffico in contemporanea ai valori frequenti dei carichi verticali da traffico; questa combinazione presenta l'azione di frenatura combinata ai carichi Tandem disposti all'appoggio sinistro dell'impalcato;
- Combinazione n°7: tiene conto dell'azione di spinta generata dalla presenza di un sovraccarico veicolare agente sui rilevati adiacenti al ponte; tale sovraccarico, calcolato in accordo al punto C.5.1.3.3.5.1. delle NTC, serve per il dimensionamento delle spalle del ponte.

**COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	CARICHI PERMANENTI VERTICALI	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.350
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 9	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 10	1.500
2	CARICHI PERMANENTI TOTALI	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.350
			Permanente: Peso Proprio	Condizione 2	1.350
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 9	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 10	1.500
3	TRAFFICO VERTICALE (CARATTERISTICO) CON TANDEM MEZZERIA	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.350
			Permanente: Peso Proprio	Condizione 2	1.350
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 9	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 10	1.500
			Variabile: Autorimesse	Condizione 3	1.350
			Variabile: Autorimesse	Condizione 4	1.350
4	TRAFFICO VERTICALE (CARATTERISTICO) CON TANDEM ALL'APPOGGIO	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.350
			Permanente: Peso Proprio	Condizione 2	1.350
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 9	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 10	1.500
			Variabile: Autorimesse	Condizione 3	1.350
			Variabile: Autorimesse	Condizione 5	1.350
5	FRENATURA (CARATTERISTICA)+TRAFFICO VERTICALE (FREQUENTE) CON TANDEM MEZZERIA	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.350
			Permanente: Peso Proprio	Condizione 2	1.350
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 9	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 10	1.500
			Variabile: Autorimesse	Condizione 3	0.540
			Variabile: Autorimesse	Condizione 4	1.013
6	FRENATURA (CARATTERISTICA)+TRAFFICO VERTICALE (FREQUENTE) CON TANDEM ALL'APPOGGIO	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.350
			Permanente: Peso Proprio	Condizione 2	1.350
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 9	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 10	1.500
			Variabile: Autorimesse	Condizione 3	0.540
			Variabile: Autorimesse	Condizione 5	1.013
7	TRAFFICO VERTICALE SU RILEVATO	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.350
			Permanente: Peso Proprio	Condizione 2	1.350
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 9	1.500
			Permanente: Permanente portato	Condizione 10	1.500
			Variabile: Autorimesse	Condizione 7	1.350

$$\bullet \text{ SISMICA: } E + G_1 + G_2 + \Psi_{21} \cdot Q_{K1} + \Psi_{22} \cdot Q_{K2};$$

per i valori dei coefficienti di combinazione  $\gamma_{Gi}$  e  $\Psi_{0i}$  si rimanda alle tabelle Tab. 5.1.V e Tab. 5.1.VI.

Le combinazioni sismiche risulta essere una sola.

- Combinazione n°8: tiene conto dell'azione sismica associata ai soli carichi permanenti (essendo nullo lo  $\Psi_2$  delle azioni da traffico) più l'incremento di spinta sismico delle terre agente sulle spalle.

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
8	SISMICA	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Peso Proprio	Condizione 2	1.000
			Permanente: Peso Proprio	Condizione 8	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 9	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 10	1.000

## Verifiche della struttura

Sono state condotte verifiche statiche SLU e sismiche SLV di tipo geotecnico, per valutare la capacità portante delle fondazioni; verifiche statiche SLU e sismiche SLV di tipo strutturale, per valutare la resistenza delle strutture portanti.

Per le verifiche geotecniche, le fondazioni della struttura in esame sono considerate come delle fondazioni superficiali (6.4.2 NTC). Le verifiche (non sismiche) si conducono con riferimento ai seguenti stati limite ultimi:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
  - scorrimento sul piano di posa;
  - collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
  - stabilità globale;
  
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Le verifiche geotecniche riferite alla stabilità globale ed allo scorrimento, non vengono affrontate perché prive di significato vista la geometria della struttura e del sito in esame.

Le rimanenti verifiche geotecniche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I per le verifiche statiche e nella Tabella 7.11.II per le verifiche sismiche.

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. 6.4.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	$\gamma_R = 1,1$

Tab. 7.11.II - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche degli stati limite (SLV) delle fondazioni superficiali con azioni sismiche

Verifica	Coefficiente parziale $\gamma_R$
Carico limite	2.3
Scorrimento	1.1
Resistenza sulle superfici laterali	1.3

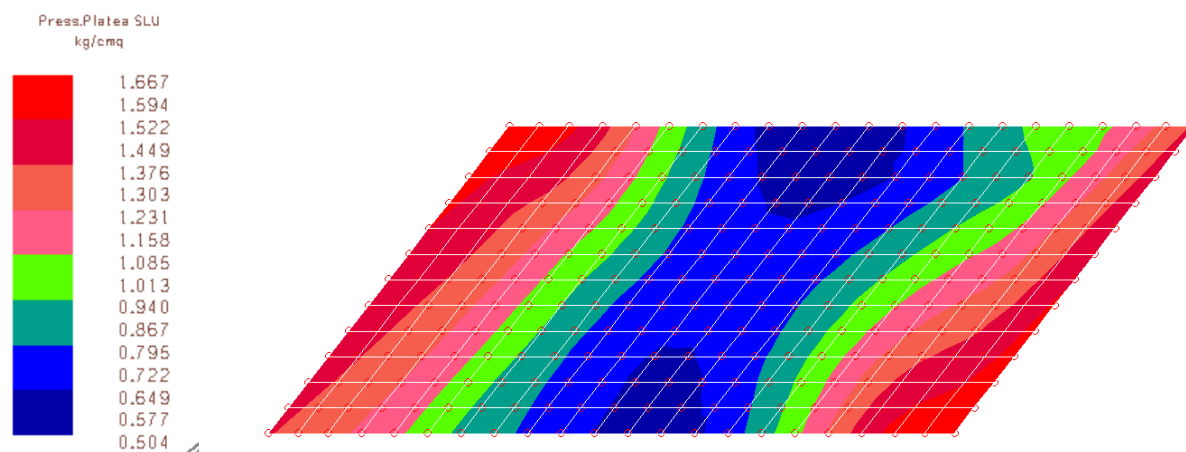
## VERIFICHE STATICHE

### ▪ VERIFICHE DI TIPO GEOTECNICO AGLI S.L.U.

#### *collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno (GEO)*

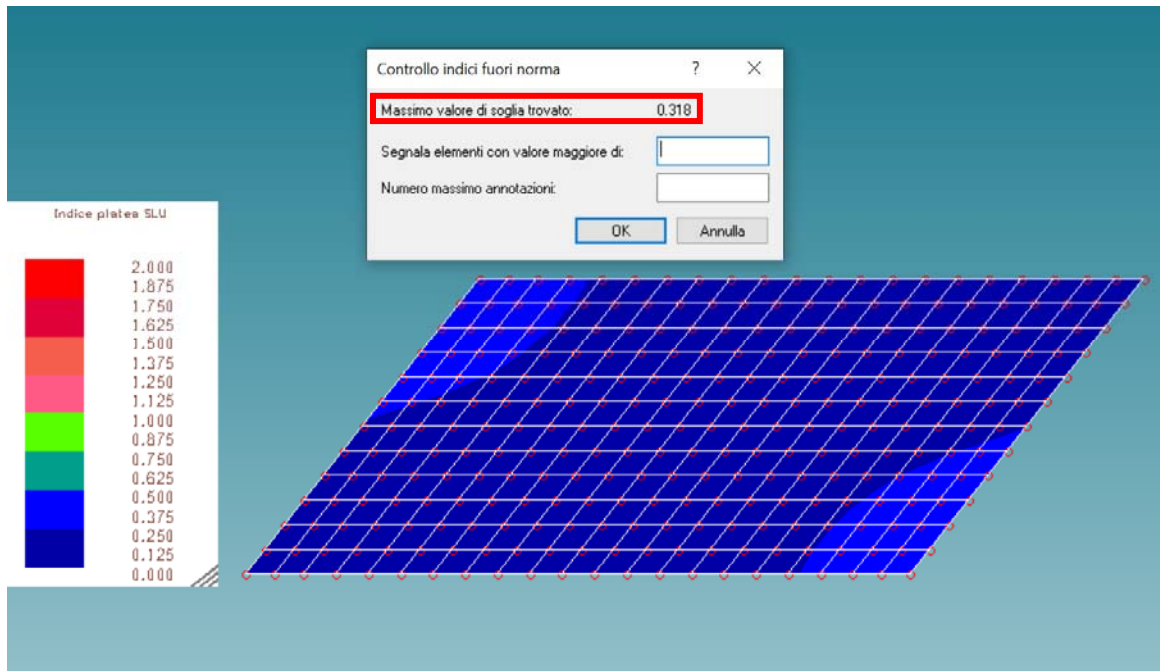
Per evitare di rappresentare tutti i risultati legati alle singole combinazioni, nelle seguenti verifiche vengono illustrati gli esiti di tutte le combinazioni statiche agli SLU, di cui si considera il loro inviluppo.

Le combinazioni statiche, generano i seguenti valori di pressioni in fondazione:



*Inviluppo Combinazioni agli SLU – pressioni sulla platea di fondazione (statiche)*

Il calcolo della capacità portante della fondazione viene condotta automaticamente dalla procedura considerando i dati di input legati alle caratteristiche del terreno. L'analisi viene condotta facendo riferimento alla teoria di Meyerhof ed ha prodotto i seguenti risultati:



*Inviluppo Combinazioni agli SLU – indici di resistenza del qlim della fondazione (statici)*

In condizioni statiche, la fondazione risulta verificata, essendo:

$$\sigma_{Ed,max} = 1.667 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{lim,ultimo} = 12.070 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Psi = \text{Sicurezza allo schiacciamento del sistema di fondazione} = 12.070/1.667 = \underline{7.24} > R3=2.3$$

$$\text{(oppure, come condotto dalla procedura } \Psi = 1.667 \cdot 2.3/12.070 = \underline{0.318} < 1.00)$$

Di seguito vengono illustrati i calcoli estratti dalla procedura per la determinazione del valore  $Q_{lim,ultimo}$ , per la combinazione n°3 che risulta essere la più gravosa tra le combinazioni statiche:

**Caratteristiche geotecniche del terreno:**

Peso specifico terreno:	1800 kg/m³	Cu, coesione:	0.000 kg/cm²
Angolo di attrito:	30.00 gradi	Profondità di posa:	100.0 cm
Angolo di attrito terreno-fondazione	20.00 gradi	Adesione terreno-fondazione:	0.000 kg/cm²

**Metodo di calcolo della capacità portante:**

Criterio di: Meyerhof

**Coefficienti sismici globali:**

Coefficiente sismico [khiX]:	0.422
Coefficiente sismico [khiY]:	0.422
Coefficiente sismico [khk]:	0.043

Tipo fondazione: platea

Area: 473334 cmq

Lato medio: 688 cm

Fattore di riduzione (Bowles)  $r_f$ : 0.866, Base ridotta B': 596 cm

Combinazione: 3 Descrizione: TRAFFICO VERTICALE (CARATTERISTICO) CON TANDEM MEZZERIA azione sismica ASSENTE

Coefficienti parziali  $\gamma_M$  di sicurezza per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo res. taglio: 1.00  
 Coesione efficace: 1.00  
 Resistenza non drenata: 1.00  
 Peso dell'unita' di volume: 1.00

Coefficienti parziali  $\gamma_R$  di sicurezza per le verifiche SLU

Capacita' portante: 2.30  
 Scorrimento: 1.10

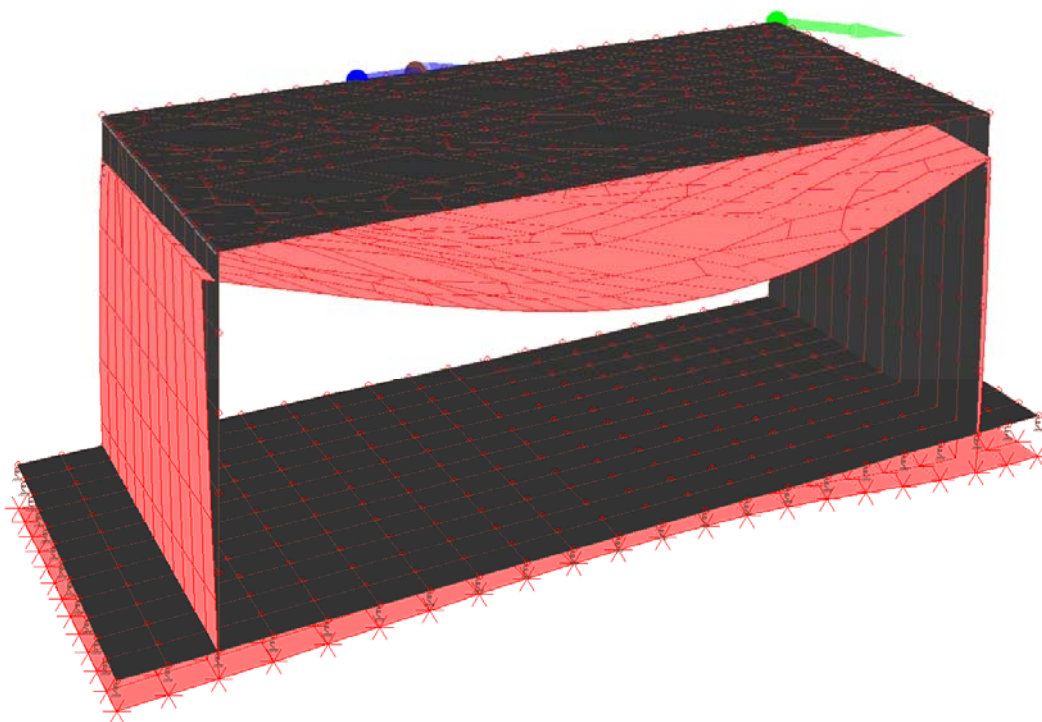
Fattore $N_q$ :	18.40	Fattore $N_c$ :	30.13	Fattore $N_\gamma$ :	15.70
Fatt. inclinazione del carico [iqX]:	1.00	Fatt. inclinazione del carico [icX]:	1.00	Fatt. inclinazione del carico [iγX]:	1.00
Fatt. inclinazione del carico [iqY]:	1.00	Fatt. inclinazione del carico [icY]:	1.00	Fatt. inclinazione del carico [iγY]:	1.00
Fattore di forma [sq]:	1.00	Fattore di forma [sc]:	1.00	Fattore di forma [sγ]:	1.00
Fattore di profondita' [dq]:	1.03	Fattore di profondita' [dc]:	1.06	Fattore di profondita' [dγ]:	1.03
Coefficiente correttivo [eγk]:	0.00	Coefficiente correttivo [eγiX]:	0.00	Coefficiente correttivo [eγiY]:	0.00

Verifica della capacita' portante

Q<sub>ult</sub>: 12.070 kg/cm<sup>2</sup>  
 Max pressione suolo: 1.667 kg/cm<sup>2</sup>  
 Indice di resistenza: 0.32

### ▪ VERIFICA DELLE DEFORMATE

La freccia totale massima della soletta agli SLU (determinata dalla Combinazione n°3) risulta essere pari a  $f_{SLU} = 0.9514$  cm, il cui corrispondente valore agli SLE è di circa  $f_{SLE} = f_{SLU}/1,35 = 0.705$  cm, ossia circa L/1205. Tale valore è ben inferiore ai limiti di deformabilità di freccia massima accettabili.



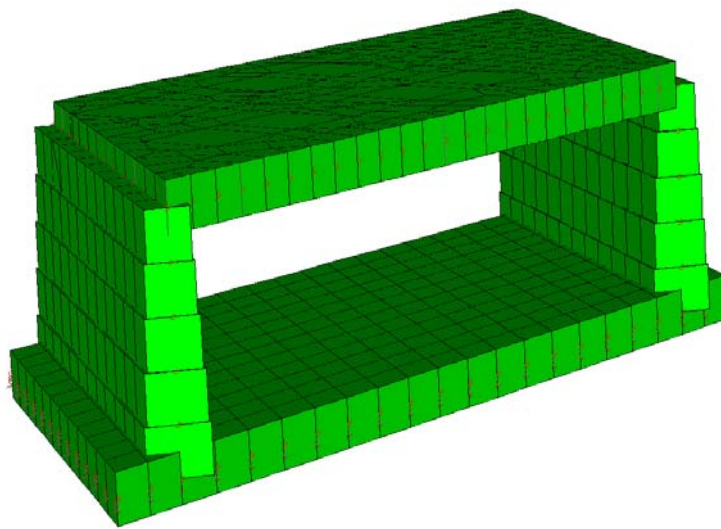
*Deformate - Vista prospettica della struttura*



▪ **VERIFICHE DI TIPO STRUTTURALE S.L.U E SISMICHE**

Per evitare di rappresentare tutti i risultati legati alle singole combinazioni strutturali, nelle seguenti verifiche vengono illustrati gli esiti di tutte le combinazioni strutturali statiche e sismiche di cui si considera il loro involuppo.

La prima analisi, relativa ai controlli geometrici e di dimensionamento della struttura ha evidenziato che tutti gli elementi analizzati risultano verificati (e quindi di colore verde), come rappresentato in figura.



**Verifica degli elementi guscio costituenti il modello FEM**

L'analisi successiva è stata la verifica delle armature. Tale verifica viene condotta automaticamente dalla procedura che evidenzia al termine dell'analisi le quantità di ferro (in  $\text{cm}^2$ ) da dover aggiungere alle armature principali previste nel calcolo e le zone in cui tali armature aggiuntive devono essere predisposte.

Se la quantità di armatura aggiuntiva risulta essere pari a 0, significa che le armature utilizzate come maglia principale nel calcolo son sufficienti per il soddisfacimento della verifica.

Di seguito vengono illustrate le verifiche per ciascuna parte strutturale:

**- Platea di fondazione**

La fondazione, come da disegno, rispettando i valori minimi d'armatura previsti dal paragrafo 7.2.5 delle NTC, viene armata con i seguenti ferri:

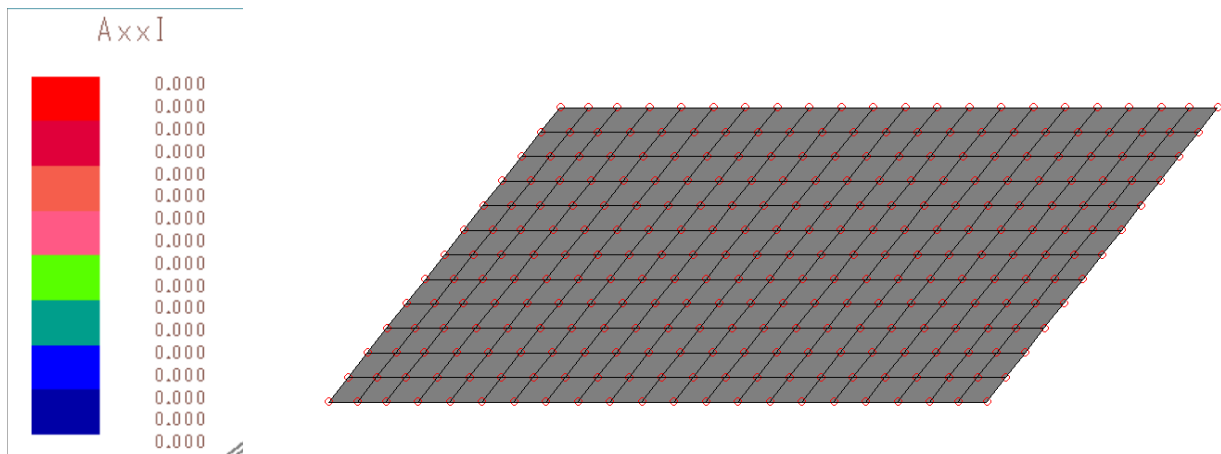
Ferri longitudinali x-x inferiori: 1φ16/20 cm

Ferri longitudinali x-x superiori: 1φ16/20 cm

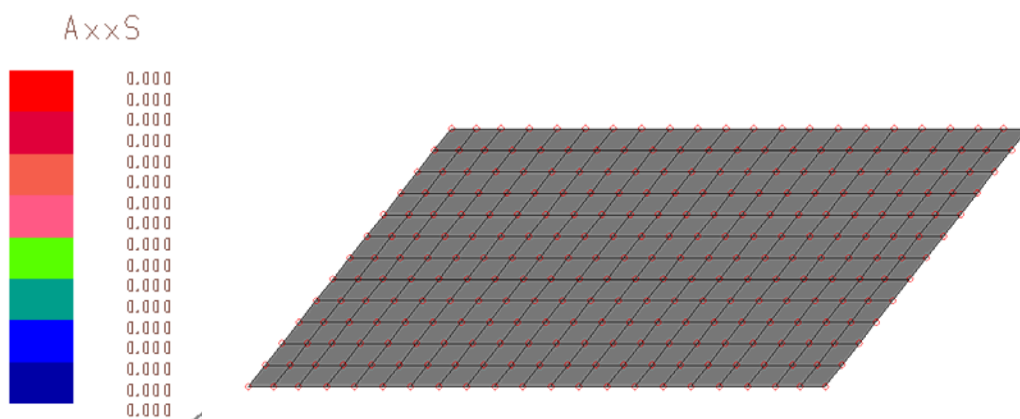
Ferri trasversali y-y inferiori: 1φ12/20 cm

Ferri trasversali y-y superiori: 1φ12/20 cm

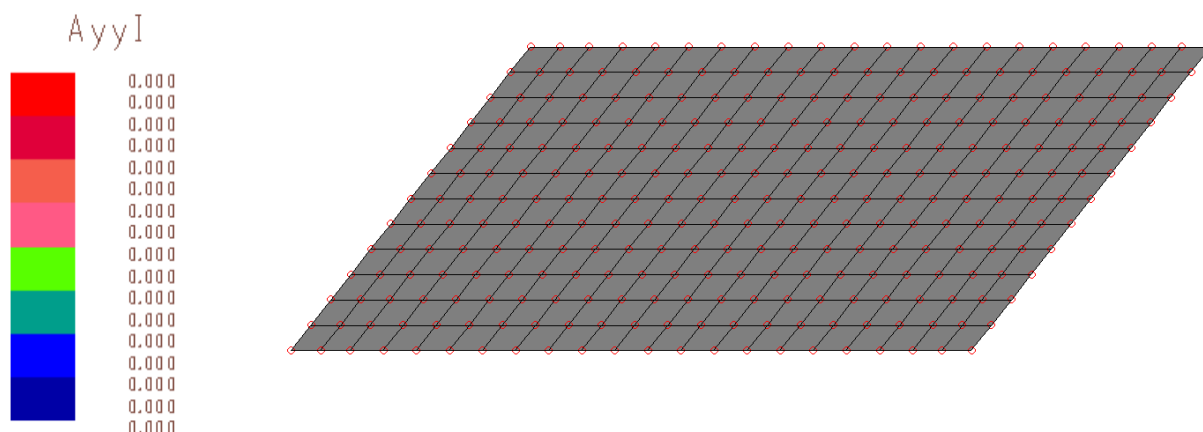
L'involuppo delle combinazioni strutturali statiche e sismiche sul modello tridimensionale hanno prodotto i seguenti risultati:



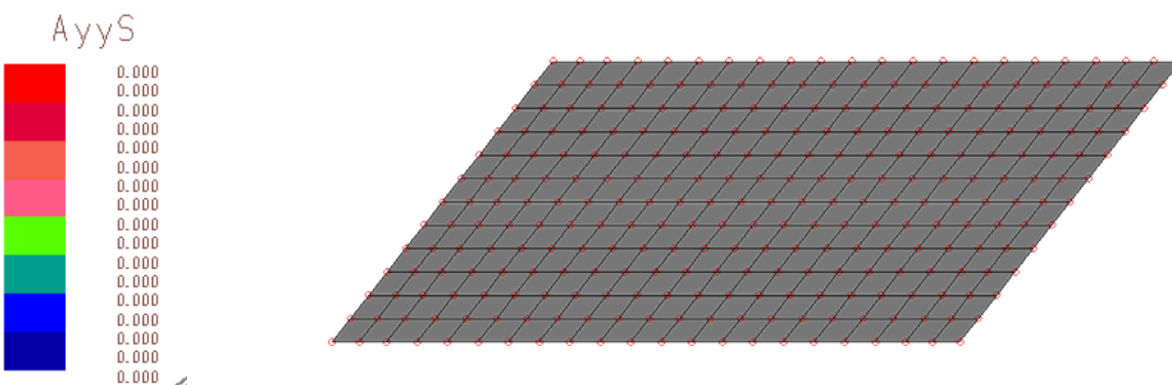
**Involuppo Combinazioni SLU e SLV – armature inferiori aggiuntive lungo x [kg/cmq]**



**Involuppo Combinazioni SLU e SLV – armature superiori aggiuntive lungo x [kg/cmq]**



**Inviluppo Combinazioni SLU e SLV – armature inferiori aggiuntive lungo y [kg/cmq]**



**Inviluppo Combinazioni SLU e SLV – armature superiori aggiuntive lungo y [kg/cmq]**

Non è necessaria alcuna armatura aggiuntiva.

Per completezza si rimanda agli elaborati grafici in cui sono espone le armature necessarie per soddisfare le verifiche a pressoflessione e taglio dei vari elementi analizzati dalla procedura.

**- Spalle di sostegno laterali**

I muri laterali di contenimento vengono armati con la seguente maglia principale:

Ferri orizzontali inferiori/esterni e superiori/interni: 1 $\phi$ 12/20 cm

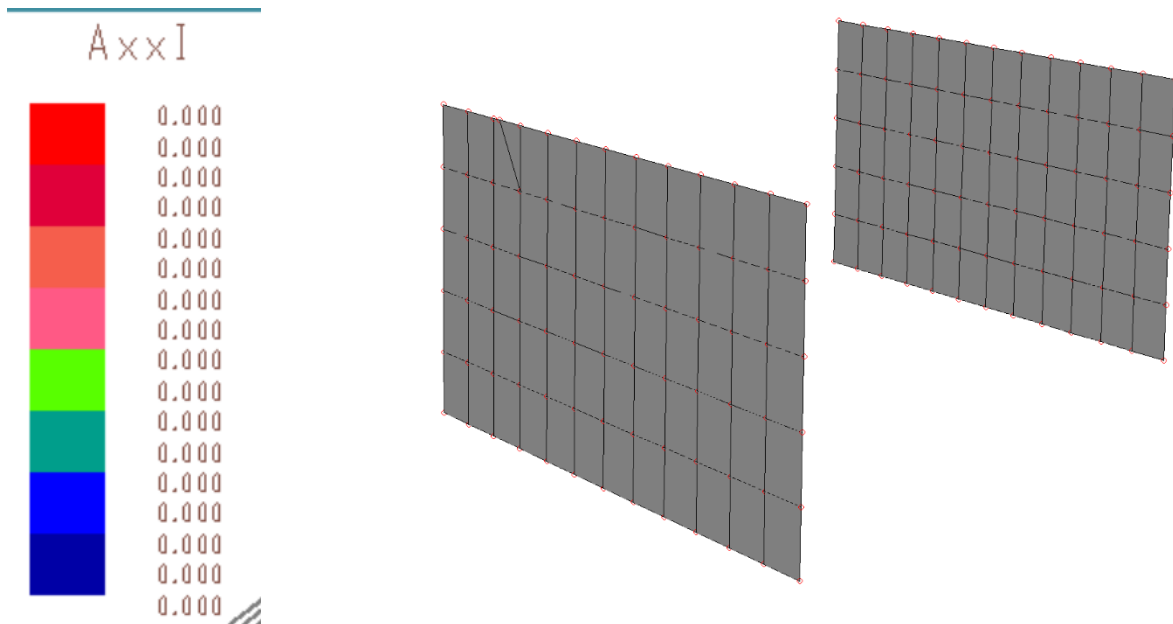
Ferri verticali superiori/interni: 1 $\phi$ 12/20 cm

Ferri verticali inferiori/esterni: 1 $\phi$ 16/20 cm

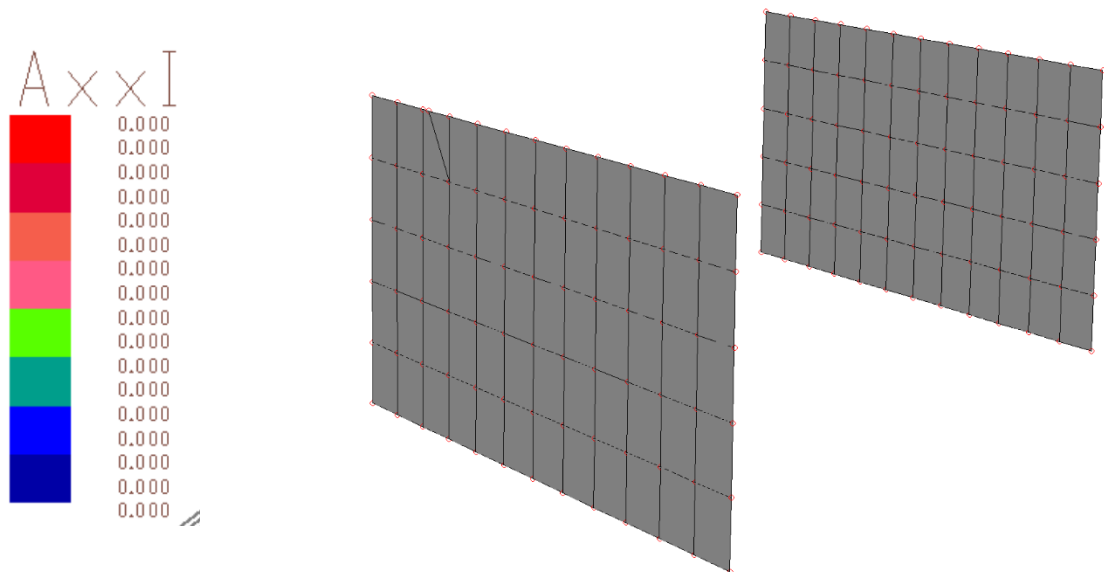
Gli elementi sono stati modellati con orientamento concorde verso il centro della struttura, pertanto le armature inferiori rappresentate dalla procedura corrispondono alle armature esterne

rappresentate negli elaborati grafici mentre le armature superiori rappresentate dalla procedura corrispondono alle armature interne rappresentate negli elaborati grafici. L'asse x-x della procedura rappresenta i ferri orizzontali degli elaborati, mentre l'asse y-y della procedura i ferri verticali degli elaborati.

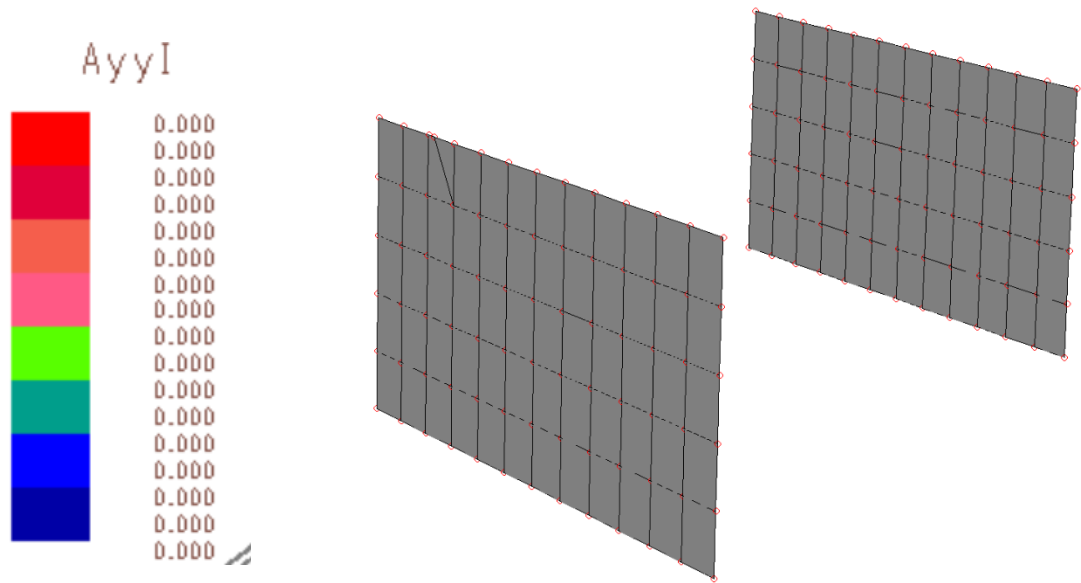
L'involuppo delle combinazioni strutturali statiche e sismiche sul modello tridimensionale hanno prodotto i seguenti risultati:



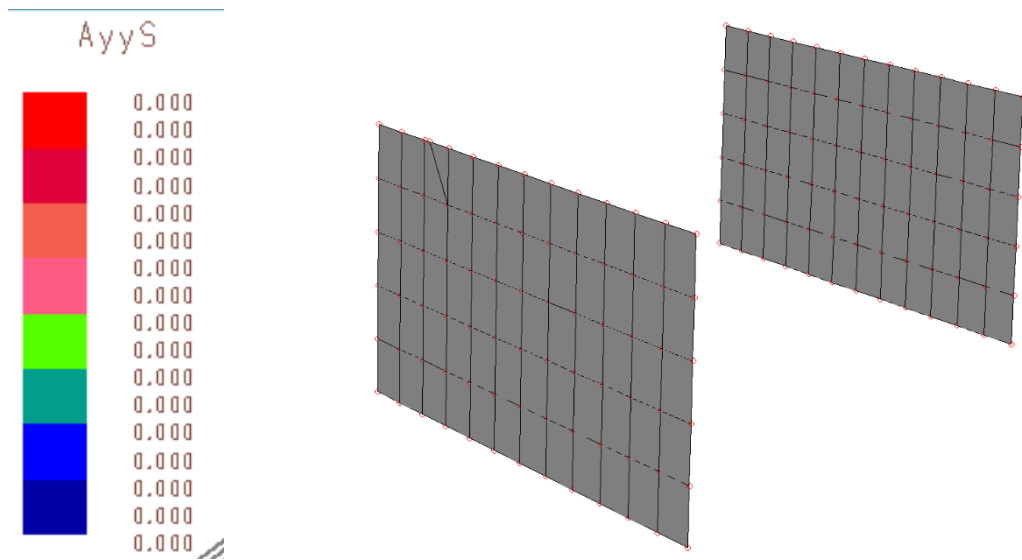
**Involuppo Combinazioni SLU e SLV – armature inferiori aggiuntive lungo x [kg/cmq] (ferri orizzontali)**



**Involuppo Combinazioni SLU e SLV – armature superiori aggiuntive lungo x [kg/cmq] (ferri orizzontali)**



**Involuppo Combinazioni SLU e SLV – armature inferiori aggiuntive lungo y [kg/cmq] (ferri verticali)**



**Involuppo Combinazioni SLU e SLV – armature superiori aggiuntive lungo x [kg/cmq] (ferri verticali)**

Per completezza si rimanda agli elaborati grafici in cui sono espone le armature necessarie per soddisfare le verifiche a pressoflessione e taglio dei vari elementi analizzati dalla procedura.

- **Soletta di copertura**

La soletta, come da disegno, viene armata con i seguenti ferri:

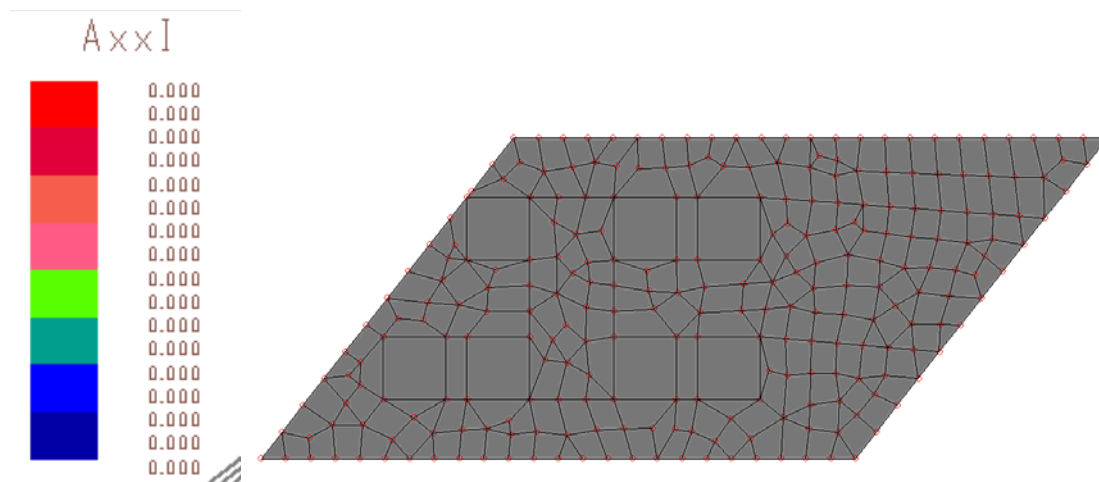
Ferri longitudinali x-x inferiori: 1 $\phi$ 20/10 cm

Ferri longitudinali x-x superiori: 1 $\phi$ 12/20 cm

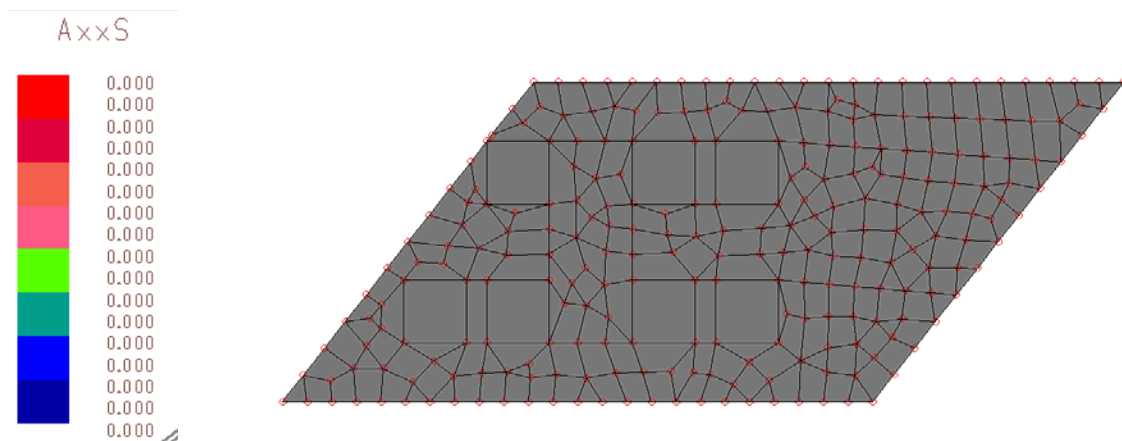
Ferri trasversali y-y inferiori: 1 $\phi$ 16/20 cm

Ferri trasversali y-y superiori: 1 $\phi$ 12/20 cm

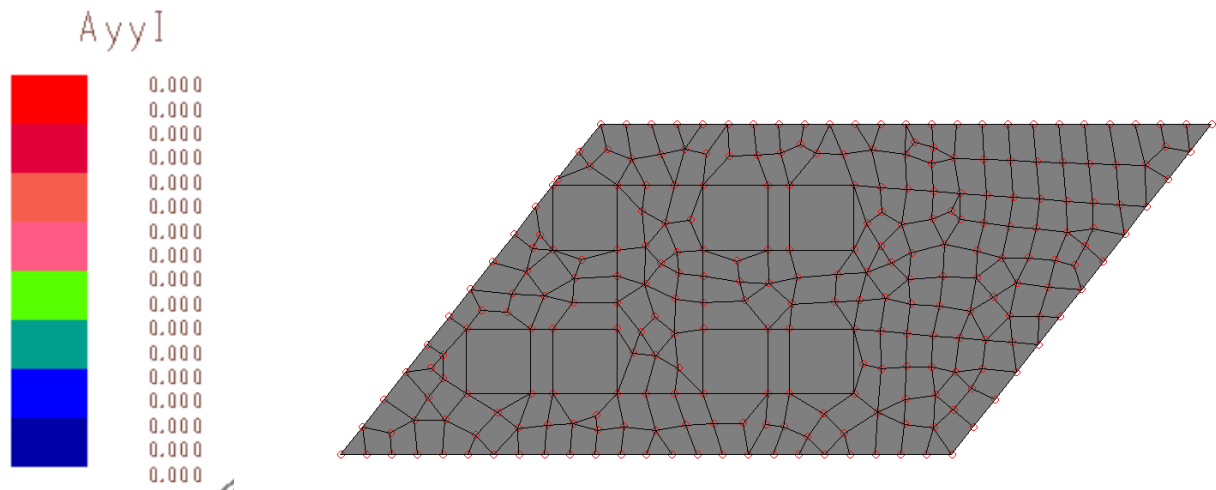
L'involuppo delle combinazioni strutturali statiche e sismiche sul modello tridimensionale hanno prodotto i seguenti risultati:



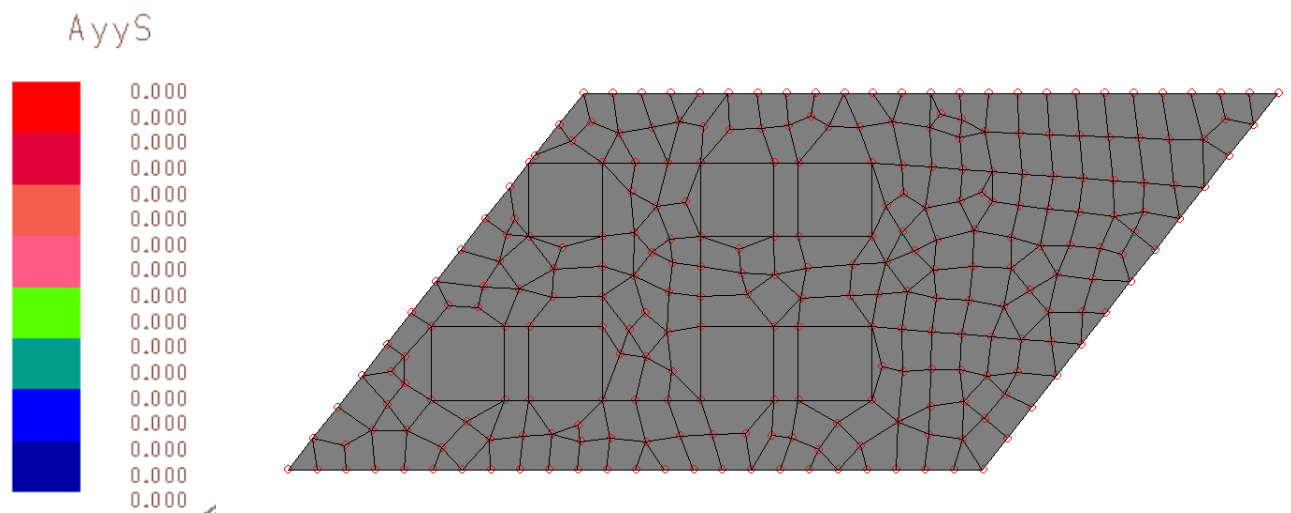
**Involuppo Combinazioni SLU e SLV – armature inferiori aggiuntive lungo x [kg/cmq]**



**Involuppo Combinazioni SLU e SLV – armature superiori aggiuntive lungo x [kg/cmq]**



**Inviluppo Combinazioni SLU e SLV – armature inferiori aggiuntive lungo y [kg/cmq]**



**Inviluppo Combinazioni SLU e SLV – armature superiori aggiuntive lungo y [kg/cmq]**

Non è necessaria alcuna armatura aggiuntiva.

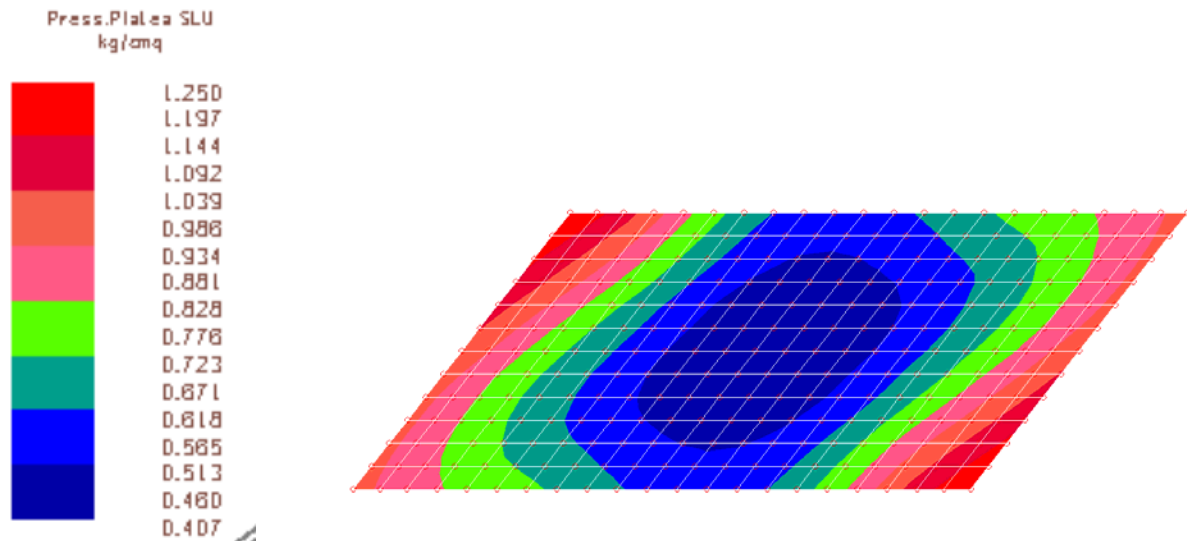
Per completezza si rimanda agli elaborati grafici in cui sono esposte le armature necessarie per soddisfare le verifiche a pressoflessione e taglio dei vari elementi analizzati dalla procedura.

## VERIFICHE SISMICHE

### ▪ VERIFICHE DI TIPO GEOTECNICO-SISMICHE

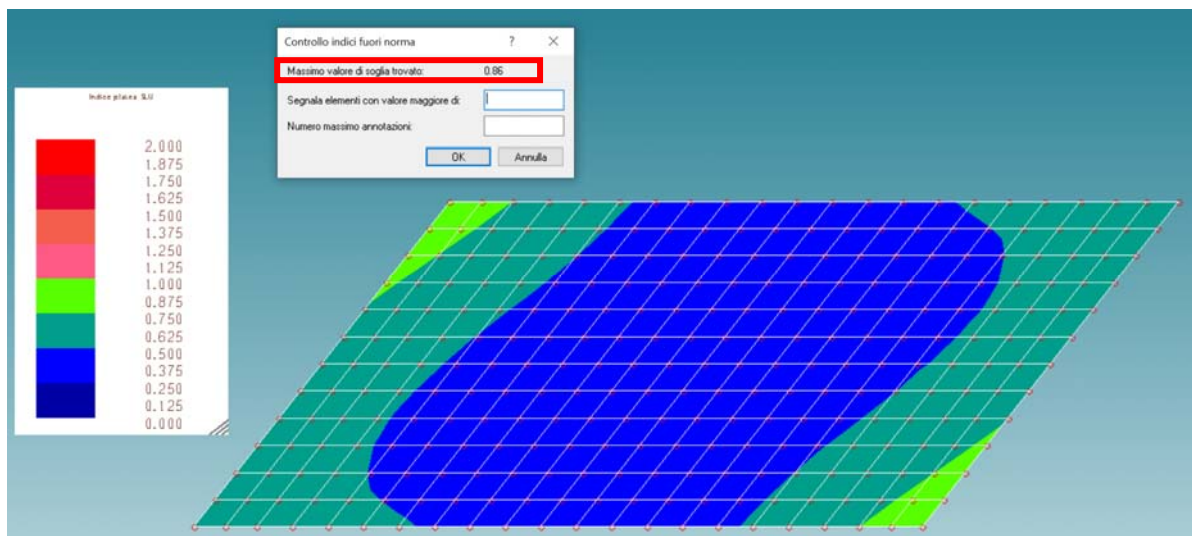
#### collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno (GEO)

L'inviluppo delle combinazioni sismiche, genera i seguenti valori di pressioni in fondazione:



*Inviluppo Combinazioni agli SLV – pressioni sulla platea di fondazione (sismiche)*

Il calcolo della capacità portante della fondazione viene condotto automaticamente dalla procedura considerando i dati di input legati alle caratteristiche del terreno. L'analisi viene condotta facendo riferimento alla teoria di Meyerhof ed ha prodotto i seguenti risultati:



*Inviluppo Combinazioni agli SLV – indici di resistenza del qlim della fondazione (sismici)*



In condizioni sismiche, la fondazione risulta verificata, essendo:

$$\sigma_{Ed,max} = 1.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{lim,ultimo} = 3.344 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Psi = \text{Sicurezza allo schiacciamento del sistema di fondazione} = 3.344/1.25 = \underline{\underline{2.675}} > R3=2.3$$

$$\text{(oppure, come condotto dalla procedura } \Psi = 1.25 \cdot 2.3/3.344 = \underline{\underline{0.86}} < 1.00)$$

Di seguito vengono illustrati i calcoli estratti dalla procedura per la determinazione del valore  $Q_{lim,ultimo}$ , per la combinazione n°8 sismica:

```

Combinazione: 8      Descrizione: SISMICA      azione sismica PRESENTE

Coefficienti parziali γM di sicurezza per i parametri geotecnici del terreno
Tangente angolo res. taglio: 1.00
Coesione efficace: 1.00
Resistenza non drenata: 1.00
Peso dell'unita' di volume: 1.00

Coefficienti parziali γR di sicurezza per le verifiche SLU
Capacita' portante: 2.30
Scorrimento: 1.10

Fattore Nq: 18.40      Fattore Nc: 30.13      Fattore Ny: 15.70
Fatt. inclinazione del carico [iqX]: 0.56      Fatt. inclinazione del carico [icX]: 0.56      Fatt. inclinazione del carico [iyX]: 0.17
Fatt. inclinazione del carico [iqY]: 0.56      Fatt. inclinazione del carico [icY]: 0.56      Fatt. inclinazione del carico [iyY]: 0.17
Fattore di forma [sq]: 1.00      Fattore di forma [sc]: 1.00      Fattore di forma [sy]: 1.00
Fattore di profondita' [dq]: 1.03      Fattore di profondita' [dc]: 1.06      Fattore di profondita' [dy]: 1.03
Coefficiente correttivo [eyk]: 0.97      Coefficiente correttivo [eyiX]: 0.17      Coefficiente correttivo [eyiY]: 0.17

Verifica della capacita' portante
QUlt (sisma in dir.X): 3.344 kg/cm²
QUlt (sisma in dir.Y): 3.344 kg/cm²
Max pressione suolo: 1.250 kg/cm²
Indice di resistenza: 0.86

Verifica a scorrimento
Carico orizzontale in dir.X agente sulla fondazione: 57128.39 kg
Carico orizzontale in dir.Y agente sulla fondazione: 57128.39 kg
Carico verticale agente sulla fondazione: 135231.34 kg
Forza resistente per attrito: 49220.18 kg
Indice di resistenza: 1.28
    
```

## ▪ VERIFICHE DI TIPO STRUTTURALE SISMICHE

Per le verifiche strutturali di tipo sismico si rimanda ai risultati delle verifiche strutturali statiche.

## ▪ ANALISI MODALE

Con i parametri sismici definiti in precedenza si sono eseguite le verifiche sismiche con il calcolo dinamico.

Ovviamente è stata attuata la verifica sismica nelle tre direzioni x-y-z.

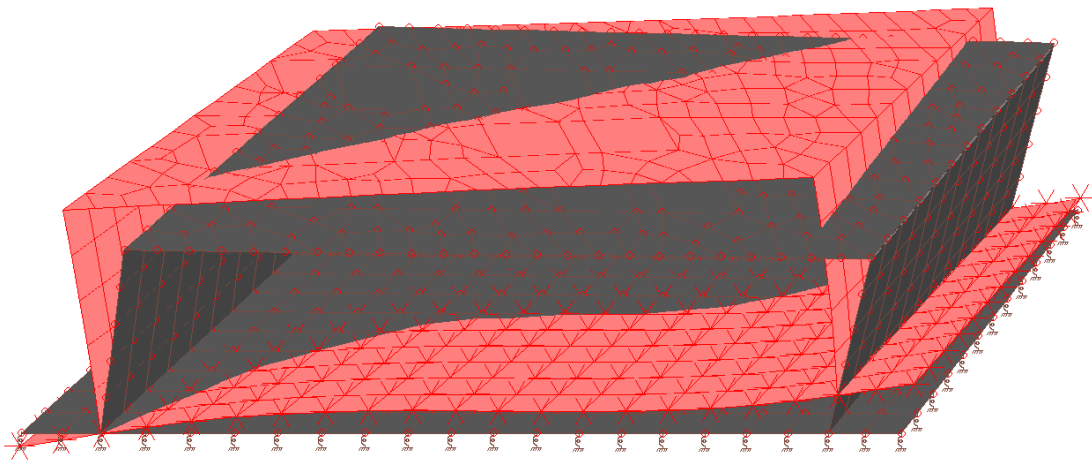
Si sono attivati un numero di modi di vibrare (60) per poter far partecipare più dell'85% delle masse col sisma nelle 3 direzioni.

I risultati di questa verifica sono riportati dalla tabella e dalle figure sottostanti, in cui si riportano per semplicità solo i modi principali di vibrare per ogni direzione:

**PROSPETTO RIASSUNTIVO MODI PRINCIPALI**

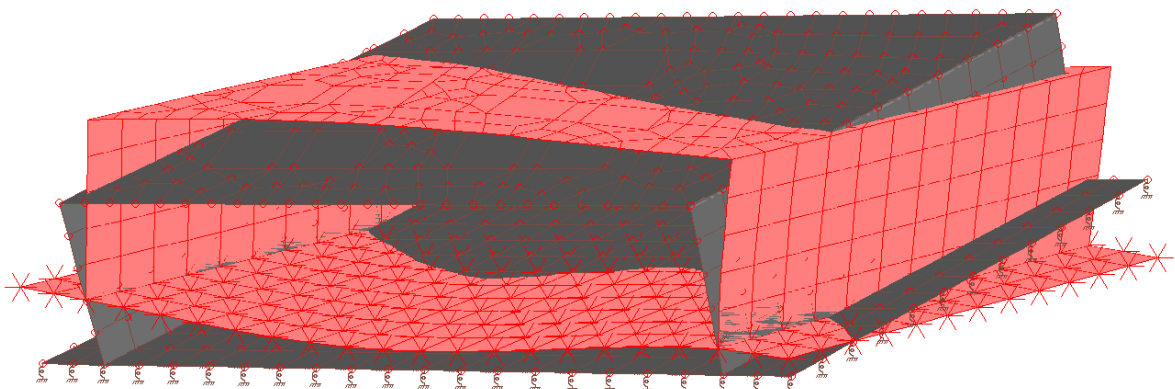
Periodo principale	T1	Massa	Massa %	Modo	Note
Direzione X	+1.26e-01	+2.98e+01	21	1	--
Direzione Y	+1.26e-01	+5.20e+01	37	1	--
Direzione Z	+8.95e-02	+8.18e+01	59	3	--

Modo 1 F=7.925 Hz T=0.126 s

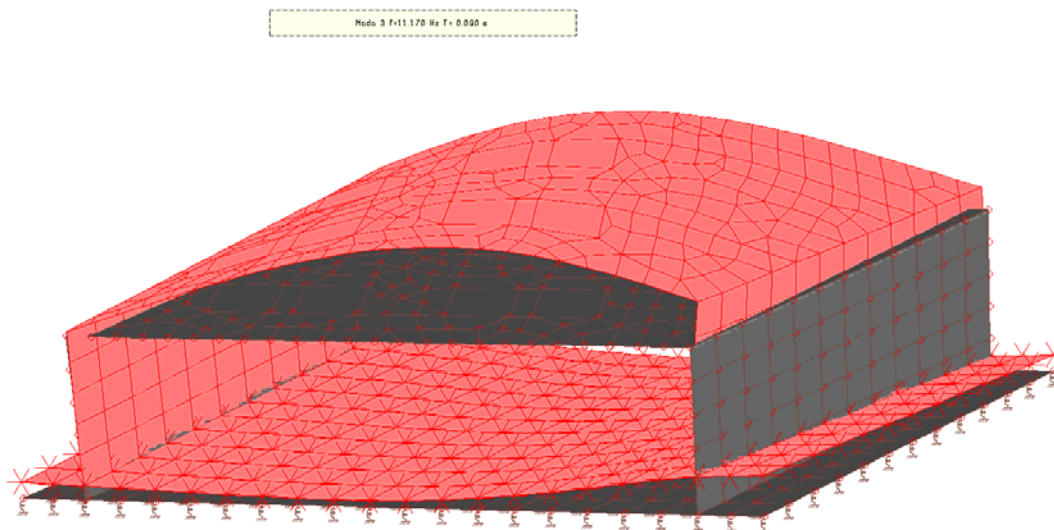


*1° Modo di vibrare – principale in x-x*

Modo 2 F=10.210 Hz T=0.098 s



*2° Modo di vibrare – principale in y-y*



**3° Modo di vibrare – principale in z-z**

Si riporta di seguito una tabella con indicate le percentuali di masse partecipanti per ogni modo di vibrare della struttura nelle tre direzioni analizzate. Si nota che, per il modello in oggetto, è necessario prendere in considerazione 30 modi di vibrare per poter raggiungere l'85% di partecipazione delle masse nella direzione z del sisma.

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%
Modo: 1	+2.98e+01	22	+5.20e+01	38	+8.13e-06	0
Progressiva	+2.98e+01	22	+5.20e+01	38	+8.13e-06	0
Modo: 2	+2.27e+01	16	+1.44e+01	10	+8.68e-06	0
Progressiva	+5.25e+01	38	+6.64e+01	48	+1.68e-05	0
Modo: 3	+1.66e-05	0	+4.11e-05	0	+8.18e+01	59
Progressiva	+5.25e+01	38	+6.64e+01	48	+8.18e+01	59
Modo: 4	+3.68e-04	0	+1.90e-05	0	+5.84e+00	4
Progressiva	+5.25e+01	38	+6.64e+01	48	+8.76e+01	64
Modo: 5	+2.89e+01	21	+2.06e+00	1	+3.17e-08	0
Progressiva	+8.14e+01	59	+6.85e+01	50	+8.76e+01	64
Modo: 6	+2.30e-04	0	+9.22e-05	0	+1.07e-01	0
Progressiva	+8.14e+01	59	+6.85e+01	50	+8.77e+01	64
Modo: 7	+2.83e+00	2	+3.75e+00	3	+1.12e-04	0
Progressiva	+8.42e+01	61	+7.22e+01	52	+8.77e+01	64
Modo: 8	+8.82e-07	0	+1.31e-06	0	+2.14e+00	2
Progressiva	+8.42e+01	61	+7.22e+01	52	+8.99e+01	65
Modo: 9	+1.71e-02	0	+2.72e+00	2	+4.98e-07	0
Progressiva	+8.42e+01	61	+7.49e+01	54	+8.99e+01	65
Modo: 10	+1.23e-04	0	+1.68e-04	0	+5.44e-02	0
Progressiva	+8.42e+01	61	+7.49e+01	54	+8.99e+01	65
Modo: 11	+1.50e-04	0	+1.59e-04	0	+1.14e-01	0
Progressiva	+8.42e+01	61	+7.49e+01	54	+9.00e+01	65
Modo: 12	+4.74e-01	0	+2.63e-01	0	+3.00e-07	0
Progressiva	+8.47e+01	61	+7.52e+01	55	+9.00e+01	65
Modo: 13	+1.01e-02	0	+1.56e+00	1	+1.38e-05	0
Progressiva	+8.47e+01	61	+7.68e+01	56	+9.00e+01	65
Modo: 14	+5.97e+00	4	+3.33e+00	2	+1.16e-06	0
Progressiva	+9.07e+01	66	+8.01e+01	58	+9.00e+01	65
Modo: 15	+1.56e-05	0	+2.75e-05	0	+1.14e+00	1
Progressiva	+9.07e+01	66	+8.01e+01	58	+9.12e+01	66
Modo: 16	+2.44e+00	2	+5.85e+00	4	+9.90e-08	0

RELAZIONE STRUTTURALE DEL TOMBOTTO IN VIA VAL DI FASSA

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%
Progressiva	+9.31e+01	68	+8.59e+01	62	+9.12e+01	66
Modo: 17	+1.52e-05	0	+2.97e-05	0	+7.65e-02	0
Progressiva	+9.31e+01	68	+8.59e+01	62	+9.12e+01	66
Modo: 18	+1.34e-01	0	+1.23e-02	0	+2.48e-04	0
Progressiva	+9.32e+01	68	+8.60e+01	62	+9.12e+01	66
Modo: 19	+2.41e-05	0	+5.53e-04	0	+4.15e-01	0
Progressiva	+9.32e+01	68	+8.60e+01	62	+9.17e+01	66
Modo: 20	+2.19e-05	0	+5.91e-05	0	+4.93e-01	0
Progressiva	+9.32e+01	68	+8.60e+01	62	+9.22e+01	67
Modo: 21	+5.14e-01	0	+9.51e+00	7	+5.24e-06	0
Progressiva	+9.38e+01	68	+9.55e+01	69	+9.22e+01	67
Modo: 22	+7.23e-03	0	+3.55e-04	0	+2.03e-01	0
Progressiva	+9.38e+01	68	+9.55e+01	69	+9.24e+01	67
Modo: 23	+1.12e+01	8	+8.74e-01	1	+5.34e-05	0
Progressiva	+1.05e+02	76	+9.63e+01	70	+9.24e+01	67
Modo: 24	+3.43e-05	0	+4.87e-05	0	+1.29e-02	0
Progressiva	+1.05e+02	76	+9.63e+01	70	+9.24e+01	67
Modo: 25	+8.84e-03	0	+2.09e+00	2	+1.20e-04	0
Progressiva	+1.05e+02	76	+9.84e+01	71	+9.24e+01	67
Modo: 26	+1.02e-05	0	+3.12e-04	0	+1.28e+00	1
Progressiva	+1.05e+02	76	+9.84e+01	71	+9.37e+01	68
Modo: 27	+6.03e-01	0	+1.04e-01	0	+3.61e-05	0
Progressiva	+1.06e+02	77	+9.85e+01	71	+9.37e+01	68
Modo: 28	+3.36e-04	0	+9.99e-04	0	+1.26e-01	0
Progressiva	+1.06e+02	77	+9.85e+01	71	+9.38e+01	68
Modo: 29	+9.24e-05	0	+5.87e-04	0	+1.64e+00	1
Progressiva	+1.06e+02	77	+9.85e+01	71	+9.54e+01	69
Modo: 30	+1.46e-03	0	+1.33e-02	0	+1.16e+00	1
Progressiva	+1.06e+02	77	+9.86e+01	71	+9.66e+01	70
Modo: 31	+1.79e+00	1	+9.75e+00	7	+6.59e-03	0
Progressiva	+1.07e+02	78	+1.08e+02	79	+9.66e+01	70
Modo: 32	+1.02e+00	1	+2.59e+00	2	+6.27e-03	0
Progressiva	+1.08e+02	79	+1.11e+02	80	+9.66e+01	70
Modo: 33	+4.74e-04	0	+2.83e-03	0	+5.72e-01	0
Progressiva	+1.08e+02	79	+1.11e+02	80	+9.72e+01	70
Modo: 34	+7.27e-01	1	+1.51e+00	1	+1.04e-03	0
Progressiva	+1.09e+02	79	+1.12e+02	82	+9.72e+01	70
Modo: 35	+1.77e-03	0	+4.90e-03	0	+1.16e-01	0
Progressiva	+1.09e+02	79	+1.12e+02	82	+9.73e+01	71
Modo: 36	+5.53e-03	0	+7.53e-04	0	+9.37e-01	1
Progressiva	+1.09e+02	79	+1.12e+02	82	+9.82e+01	71
Modo: 37	+7.58e+00	5	+5.89e-01	0	+7.12e-04	0
Progressiva	+1.17e+02	85	+1.13e+02	82	+9.82e+01	71
Modo: 38	+8.27e-01	1	+1.31e-03	0	+4.14e-04	0
Progressiva	+1.18e+02	85	+1.13e+02	82	+9.82e+01	71
Modo: 39	+5.40e-03	0	+6.94e-02	0	+3.13e-04	0
Progressiva	+1.18e+02	85	+1.13e+02	82	+9.82e+01	71
Modo: 40	+6.13e-04	0	+1.91e-04	0	+1.24e-01	0
Progressiva	+1.18e+02	85	+1.13e+02	82	+9.83e+01	71
Modo: 41	+4.76e-01	0	+3.68e-04	0	+7.00e-04	0
Progressiva	+1.18e+02	86	+1.13e+02	82	+9.83e+01	71
Modo: 42	+1.28e-05	0	+1.96e-04	0	+5.56e+00	4
Progressiva	+1.18e+02	86	+1.13e+02	82	+1.04e+02	75
Modo: 43	+1.96e+00	1	+1.27e-01	0	+1.09e-05	0
Progressiva	+1.20e+02	87	+1.13e+02	82	+1.04e+02	75
Modo: 44	+5.73e-02	0	+7.34e-02	0	+1.55e-03	0
Progressiva	+1.20e+02	87	+1.13e+02	82	+1.04e+02	75
Modo: 45	+9.30e-06	0	+5.17e-04	0	+3.81e-01	0
Progressiva	+1.20e+02	87	+1.13e+02	82	+1.04e+02	76
Modo: 46	+1.54e-04	0	+4.69e-04	0	+2.36e+00	2

RELAZIONE STRUTTURALE DEL TOMBOTTO IN VIA VAL DI FASSA

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%	Direz.Z	%
Progressiva	+1.20e+02	87	+1.13e+02	82	+1.07e+02	77
Modo: 47	+1.89e-01	0	+4.05e-01	0	+1.95e-02	0
Progressiva	+1.20e+02	87	+1.14e+02	82	+1.07e+02	77
Modo: 48	+4.40e-04	0	+1.03e-03	0	+1.47e+00	1
Progressiva	+1.20e+02	87	+1.14e+02	82	+1.08e+02	78
Modo: 49	+1.64e-04	0	+1.00e-03	0	+1.81e-02	0
Progressiva	+1.20e+02	87	+1.14e+02	82	+1.08e+02	78
Modo: 50	+2.06e-01	0	+8.13e-01	1	+2.46e-01	0
Progressiva	+1.20e+02	87	+1.15e+02	83	+1.08e+02	79
Modo: 51	+1.17e-01	0	+4.47e-01	0	+4.63e-01	0
Progressiva	+1.21e+02	87	+1.15e+02	83	+1.09e+02	79
Modo: 52	+2.48e-02	0	+8.25e-02	0	+2.29e-01	0
Progressiva	+1.21e+02	87	+1.15e+02	83	+1.09e+02	79
Modo: 53	+9.37e-02	0	+3.04e-01	0	+5.24e-04	0
Progressiva	+1.21e+02	88	+1.15e+02	84	+1.09e+02	79
Modo: 54	+3.71e-01	0	+1.92e+00	1	+4.52e-03	0
Progressiva	+1.21e+02	88	+1.17e+02	85	+1.09e+02	79
Modo: 55	+1.70e-03	0	+6.31e-03	0	+2.58e+00	2
Progressiva	+1.21e+02	88	+1.17e+02	85	+1.12e+02	81
Modo: 56	+4.41e-03	0	+6.27e-02	0	+7.48e-03	0
Progressiva	+1.21e+02	88	+1.17e+02	85	+1.12e+02	81
Modo: 57	+1.25e+00	1	+3.02e+00	2	+3.57e-03	0
Progressiva	+1.22e+02	89	+1.20e+02	87	+1.12e+02	81
Modo: 58	+5.26e-03	0	+1.20e-02	0	+9.37e-02	0
Progressiva	+1.22e+02	89	+1.20e+02	87	+1.12e+02	81
Modo: 59	+1.10e+00	1	+2.06e+00	1	+2.28e-06	0
Progressiva	+1.23e+02	89	+1.22e+02	89	+1.12e+02	81
Modo: 60	+1.22e+00	1	+2.20e+00	2	+9.64e-04	4
Progressiva	+1.25e+02	90	+1.25e+02	90	+1.12e+02	85

## **Prestazioni di progetto, classe della struttura, vita utile e procedure di qualità**

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate comunemente dal progettista e dal committente. A tal fine è stata posta attenzione al tipo della struttura, al suo uso e alle possibili conseguenze di azioni anche accidentali; particolare rilievo è stato dato alla sicurezza delle persone.

La classe della struttura è di tipo 2.

Risulta così definito l'insieme degli stati limite riscontrabili nella vita della struttura.

Altrettanta cura è stata posta per garantire la durabilità della struttura, con la consapevolezza che tutte le prestazioni attese potranno essere adeguatamente realizzate solo mediante opportune procedure da seguire non solo in fase di progettazione, ma anche di costruzione, manutenzione e gestione dell'opera. Per quanto riguarda la durabilità si sono presi tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture, in considerazione dell'ambiente in cui l'opera dovrà vivere e dei cicli di carico a cui sarà sottoposta. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi.

## **Criteri di concezione e di schematizzazione strutturale, modellazione del terreno, proprietà dei materiali, efficacia del modello.**

Il comportamento strutturale sotto le azioni statiche e dinamiche è stato adeguatamente valutato, interpretato e trasferito nel modello che per la regolarità strutturale e di costanza del carico in senso longitudinale si caratterizza per essere impostato in modello sul piano ZX. A tal fine ai nodi strutturali convergono elementi trave, che corrispondono nel codice numerico di calcolo a precise tipologie di elementi finiti: travi e pilastri.

I vincoli con il mondo esterno vengono rappresentati, con elementi in grado di definire le modalità di vincolo e le rigidezze nel piano. Il comportamento del terreno è sostanzialmente rappresentato

tramite una schematizzazione lineare alla Winkler, principalmente caratterizzabile attraverso una opportuna costante di sottofondo.

I parametri dei materiali utilizzati per la modellazione riguardano il modulo di Young e il coefficiente di Poisson. Il calcolo viene condotto mediante analisi lineare.

Si ritiene che il modello utilizzato sia rappresentativo del comportamento reale della struttura. Sono stati inoltre valutati i possibili effetti o le azioni anche transitorie che possano essere significative e avere implicazione per la struttura.

È stata impiegata un'analisi dinamica modale in campo lineare con adozione di spettro di risposta conforme al D.M. 17.01.2018. Agli effetti del dimensionamento è stato quindi impiegato il metodo degli stati limite.

## **Metodologie di calcolo, tipo di analisi e strumenti utilizzati.**

L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il programma di calcolo MasterSap, prodotto da Studio Software AMV di Ronchi dei Legionari (Gorizia). È stata utilizzata un'analisi lineare dinamica nel rispetto delle norme indicate in precedenza. Le procedure di verifica adottate seguono il metodo di calcolo degli stati limite ultimo /esercizio secondo quanto previsto dal DM 17.01.2018, Norme Tecniche per le Costruzioni.

## **Presentazione del modello strutturale e sue proprietà**

Diamo una breve descrizione delle simbologie adottate da MasterSap.

### **I NODI**

La struttura è individuata da nodi riportati in coordinate.

Ogni nodo possiede sei gradi di libertà, associati alle sei possibili deformazioni. I gradi di libertà possono essere liberi (spostamenti generalizzati incogniti), bloccati (spostamenti generalizzati corrispondente uguale a zero), di tipo slave o linked (il parametro cinematico dipende dalla relazione con altri gradi di libertà).

Si può intervenire sui gradi di libertà bloccando uno o più gradi. I blocchi vengono applicate nella direzione della terna locale del nodo.

Le relazioni complesse creano un legame tra uno o più gradi di libertà di un nodo detto slave con

quelli di un altro nodo detto master. Esistono tre tipi di relazioni complesse.

Le relazioni di tipo link prescrivono l'uguaglianza tra gradi di libertà analoghi di nodi diversi. Specificare una relazione di tipo link significa specificare il nodo slave assieme ai gradi di libertà che partecipano al vincolo ed il nodo master. I gradi di libertà slave saranno eguagliati ai rispettivi gradi di libertà del nodo master.

La relazione di piano rigido prescrive che il nodo slave appartiene ad un piano rigido e quindi che i due spostamenti in piano e la rotazione normale al piano sono legati ai tre parametri di roto-traslazione rigida di un piano.

Il Corpo rigido prescrive che il nodo slave fa parte di un corpo rigido e tutti e sei i suoi gradi di libertà sono legati ai sei gradi di libertà posseduti dal corpo rigido (i gradi di libertà del suo nodo master).

## **I MATERIALI**

I materiali sono individuati da un codice specifico e descritti dal modulo di elasticità, dal coefficiente di Poisson, dal peso specifico, dal coefficiente di dilatazione termica.

## **LE SEZIONI**

Le sezioni sono individuate in ogni caso da un codice numerico specifico, dal tipo e dai relativi parametri identificativi. La simbologia adottata dal programma è la seguente:

- Rettangolare piena (Rp);
- Rettangolare cava (Rc);
- Circolare piena (Cp);
- Circolare cava (Cc);
- T (T.);
- T rovescia (Tr);
- L (L.);
- C (C.);
- C rovescia (Cr);
- Cassone (Ca);
- Profilo singolo (Ps);
- Profilo doppio (Pd);
- Generica (Ge).



## I CARICHI

I carichi agenti sulla struttura possono essere suddivisi in carichi nodali e carichi elementari. I carichi nodali sono forze e coppie concentrate applicate ai nodi della discretizzazione. I carichi elementari sono forze, coppie e sollecitazioni termiche.

I carichi in luce sono individuati da un codice numerico, da un tipo e da una descrizione. Sono previsti carichi distribuiti trapezoidali riferiti agli assi globali ( $fX$ ,  $fY$ ,  $fZ$ ,  $fV$ ) e locali ( $f_x$ ,  $f_y$ ,  $f_z$ ), forze concentrate riferite agli assi globali ( $FX$ ,  $FY$ ,  $FZ$ ,  $FV$ ) o locali ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ), momenti concentrati riferiti agli assi locali ( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ), momento torcente distribuito riferito all'asse locale  $x$  ( $m_x$ ), carichi termici ( $t_x$ ,  $t_y$ ,  $t_z$ ), descritti con i relativi parametri identificativi, aliquote inerziali comprese, rispetto al riferimento locale. I carichi in luce possono essere attribuiti solo a elementi finiti del tipo trave o trave di fondazione.

## GLI ELEMENTI FINITI

La struttura può essere suddivisa in sottostrutture, chiamate gruppi.

### **ELEMENTO FRAME (TRAVE E PILASTRO, TRAVE DI FONDAZIONE)**

L'elemento frame implementa il modello della trave nello spazio tridimensionale. E' caratterizzato da 2 nodi principali I e J posti alle sue estremità ed un nodo geometrico facoltativo K che serve solamente a fissare univocamente la posizione degli assi locali.

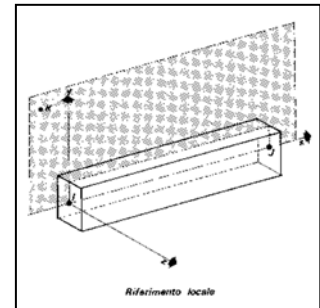
L'elemento frame possiede 12 gradi di libertà.

Ogni elemento viene riferito a una terna locale destra  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , come mostrato in figura. L'elemento frame supporta varie opzioni tra cui:

1. deformabilità da taglio (travi tozze);
2. sconessioni totali o parziali alle estremità;
3. connessioni elastiche alle estremità;
4. offsets, ovvero tratti rigidi eventualmente fuori asse alle estremità;
5. suolo elastico alla Winkler nelle tre direzioni locali e a torsione.

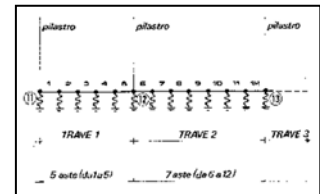
L'elemento frame supporta i seguenti carichi:

1. carichi distribuiti trapezoidali in tutte le direzioni locali o globali;
2. sollecitazioni termiche uniformi e gradienti termici nelle due direzioni principali;
3. forza concentrata in tutte le direzioni locali o globali applicata in un punto arbitrario;
4. carichi generici mediante prescrizione delle reazioni di incastro perfetto.



I gruppi formati da elementi del tipo trave riportano, in ordine, i numeri dei nodi iniziale (I), finale (J) e di riferimento (K), la situazione degli svincoli ai nodi I e J (indicate in legenda eventuali situazioni diverse dall'incastro perfetto ad entrambi i nodi), i codici dei materiali e delle sezioni, la situazione di carico nelle otto possibili condizioni A, B, C, D, E, F, G, H: se è presente un numero, esso individua il coefficiente moltiplicativo del carico corrispondente.

I gruppi relativi all'elemento trave di fondazione riportano informazioni analoghe; le condizioni di carico sono limitate a due (A e B); È indicata la caratteristica del suolo, la larghezza di contatto con il terreno e il numero di suddivisioni interne. Per la trave di fondazione il programma



abilita automaticamente solo i gradi di libertà relativi alla rotazione intorno agli assi globali X, Y e alla traslazione secondo Z, bloccando gli altri gradi di libertà. Ogni trave di fondazione è suddivisa in un numero adeguato di parti (aste). Ogni singola asta interagisce con il terreno mediante un elemento finito del tipo vincolo elastico alla traslazione verticale  $t_z$  convergente ai suoi nodi (vedi figura), il cui valore di rigidità viene determinato da programma moltiplicando la costante di sottofondo assegnata dall'utente per l'area di contatto con il terreno in corrispondenza del nodo.

I tipi di carichi ammessi sono solo di tipo distribuito  $f_z$ ,  $f_v$ ,  $f_y$ . Inoltre accade che:

$V_i = V_f$ ;  $d_i = d_f = 0$ , ovvero il carico è di tipo rettangolare esteso per tutta la lunghezza della trave.

### **ELEMENTO SHELL (GUSCIO)**

L'elemento shell implementa il modello del guscio piatto ortotropo nello spazio tridimensionale. E' caratterizzato da 3 o 4 nodi I, J, K ed L posti nei vertici e 6 gradi di libertà per ogni nodo. Il comportamento flessionale e quello membranale sono disaccoppiati.

Gli elementi guscio/piastra si caratterizzano perché possono subire carichi nel piano ma anche ortogonali al piano ed essere quindi soggetti anche ad azioni flettenti e torcenti.

Gli elementi in esame hanno formalmente tutti i sei gradi di libertà attivi, ma non posseggono rigidità per la rotazione ortogonale al piano dell'elemento.

Nei gruppi shell definiti "platea" viene attuato il blocco di tre gradi di libertà,  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $r_z$ , per tutti i nodi del gruppo.

Ogni gruppo può contenere uno o più elementi (max 1999). Ogni elemento viene definito da questi parametri:

1. elemento numero (massimo 1999 per ogni gruppo);
2. nodi di riferimento I, J, K, L;

3. spessore;
4. materiale;
5. pressioni e relative aliquote dinamiche;
6. temperatura;
7. gradiente termico;
8. carichi distribuiti e relative aliquote dinamiche.

### ***ELEMENTO BOUNDARY (VINCOLO)***

L'elemento boundary è sostanzialmente un elemento molla con rigidezza assiale in una direzione specificata e rigidezza torsionale attorno alla stessa direzione. E' utile quando si vogliono determinare le reazioni vincolari oppure quando si vogliono imporre degli spostamenti o delle rotazioni di alcuni nodi (cedimenti vincolari).

I parametri relativi ad ogni singolo vincolo sono:

1. il nodo a cui è collegato il vincolo (o i vincoli, massimo sei);
2. la traslazione imposta (L) o la rotazione imposta (radianti);
3. la rigidezza (per le traslazioni in F/L, per le rotazioni in F\*L/rad).

## **Presentazione dei risultati**

Diamo una breve descrizione delle simbologie adottate da MasterSap.

### **I METODI DI CALCOLO**

#### ***ANALISI DINAMICA MODALE***

Il programma effettua l'analisi dinamica con il metodo dello spettro di risposta.

Il sistema da analizzare è essere visto come un oscillatore a n gradi di libertà, di cui vanno individuati i modi propri di vibrazione. Il numero di frequenze da considerare è un dato di ingresso che l'utente deve assegnare. In generale si osservi che il numero di modi propri di vibrazione non può superare il numero di gradi di libertà del sistema.

La procedura attua l'analisi dinamica in due fasi distinte: la prima si occupa di calcolare le frequenze proprie di vibrazione, la seconda calcola spostamenti e sollecitazioni conseguenti allo spettro di risposta assegnato in input.

Nell'analisi spettrale il programma utilizza lo spettro di risposta assegnato in input, coerentemente

con quanto previsto dalla normativa. L'eventuale spettro nella direzione globale Z è unitario. L'ampiezza degli spettri di risposta è determinata dai parametri sismici previsti dalla normativa e assegnati in input dall'utente.

La procedura calcola inizialmente i coefficienti di partecipazione modale per ogni direzione del sisma e per ogni frequenza. Tali coefficienti possono essere visti come il contributo dinamico di ogni modo di vibrazione nelle direzioni assegnate. Si potrà perciò notare in quale direzione il singolo modo di vibrazione ha effetti predominanti.

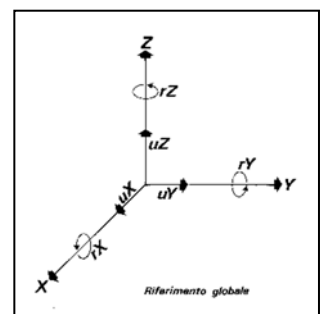
Successivamente vengono calcolati, per ogni modo di vibrazione, gli spostamenti e le sollecitazioni relative a ciascuna direzione dinamica attivata, per ogni modo di vibrazione. Per ogni direzione dinamica viene calcolato l'effetto globale, dovuto ai singoli modi di vibrazione, mediante la radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli effetti. E' prevista una specifica fase di stampa per tali risultati.

L'ultima elaborazione riguarda il calcolo degli effetti complessivi, ottenuti considerando tutte le direzioni dinamiche applicate. Tale risultato (involuppo) può essere ottenuto, a discrezione dell'utente in tre modi distinti, inclusi quelli suggeriti della normativa italiana e dall'Eurocodice 8.

## PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE

### DEFORMATE

Per ogni combinazione di carico e per tutti i nodi non completamente bloccati il programma calcola spostamenti (unità di misura L) e rotazioni (radianti). Viene anche rappresentata la deformata in luce dell'asta che riproduce il comportamento di una funzione polinomiale di quarto grado. Gli spostamenti sono positivi se diretti nel verso degli assi globali X Y Z, le rotazioni positive se antiorarie rispetto all'asse di riferimento, per un osservatore disteso lungo il corrispondente semiasse positivo (vedi figura a lato).



Viene anche determinato il valore massimo assoluto (con segno) di ogni singola deformazione e il valore massimo dello spostamento nello spazio (radice quadrata della somma dei quadrati degli spostamenti).

### ASPETTI PARTICOLARI DELL'ANALISI DINAMICA

Nella stampa degli autovettori vengono riportati i relativi risultati, pertinenti ad ogni nodo.

Nel calcolo della risposta spettrale vengono determinate, per ogni verso del sisma, le deformazioni relative ai vari modi di vibrare e la corrispondente media quadratica. Tali risultati vengono successivamente combinati e danno luogo ad uno o più involuipi in relazione a quanto imposto dall'utente nella fase iniziale di intestazione del lavoro.

Nel caso dell'applicazione dell'Ordinanza 3431 (ex 3272) vengono anche determinate le deformazioni allo stato limite ultimo, che risultano amplificate per effetto dei fattori di struttura  $q$  rassegnati alle due direzioni orizzontali e a quella verticale.

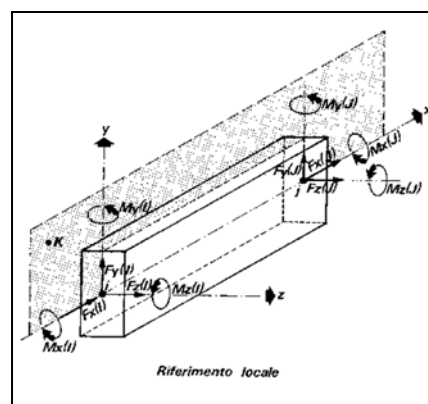
#### TRAVI, PILASTRI E TRAVI DI FONDAZIONE

Il programma calcola ai due nodi estremi di ogni elemento e per ogni combinazione di carico sei sollecitazioni, riferite agli assi locali (come indicato nella figura a lato):

- $F_x$  = forza assiale nella direzione locale  $x$ ;
- $F_y$  = taglio nella direzione locale  $y$ ;
- $F_z$  = taglio nella direzione locale  $z$ ;
- $M_x$  = momento torcente attorno all'asse locale  $x$ ;
- $M_y$  = momento flettente attorno all'asse locale  $y$ ;
- $M_z$  = momento flettente attorno all'asse locale  $z$ ,

con le seguenti convenzioni sui segni:

- forze positive se concordi con gli assi locali ( $F$ );
- momenti positivi se antiorari rispetto gli assi locali, per un osservatore disteso lungo il corrispondente semiasse positivo ( $F*L$ ).



Tali convenzioni sono caratteristiche dei codici di calcolo numerico e sono mantenute soltanto nelle stampe globali. Nelle rappresentazioni grafiche e nelle stampe delle verifiche di sicurezza vengono invece adottate le convenzioni tipiche della Scienza delle Costruzioni.

In caso di analisi sismica con il metodo statico equivalente viene riportato un prospetto riguardante il peso sismico del gruppo, le coordinate baricentriche relative, il coefficiente di distribuzione globale del gruppo funzione della sua quota, il coefficiente globale ricavato dal precedente in base ai parametri sismici, la forza sismica relativa.

Nell'analisi dinamica vengono calcolate le medesime sollecitazioni per ognuna delle tre azioni sismiche previste ( $Z$  eventuale). Viene evidenziato il modo di vibrazione che dà luogo all'effetto

massimo, il valore di tale effetto (con segno), la risultante dovuta alla combinazione di tutti i modi di vibrazione mediante il criterio prescelto dall'utente.

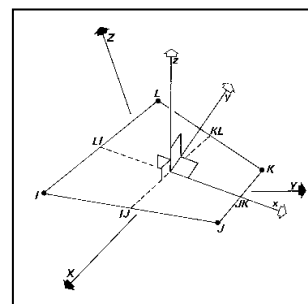
Per le travi di fondazione il programma calcola ai due nodi estremi della trave e in tutti i punti intermedi generati per effetto della suddivisione della trave di fondazione, per ogni combinazione di carico:

- $F_y$  = taglio nella direzione locale  $y$  (F);
- $M_x$  = momento torcente attorno asse locale  $x$  ( $F \cdot L$ );
- $M_z$  = momento flettente attorno asse locale  $z$  ( $F \cdot L$ );
- $U_z$  = spostamento lungo  $Z$  (L);
- $r_x$  = rotazione intorno  $X$  (rad);
- $r_y$  = rotazione intorno  $Y$  (rad);
- pressione sul suolo ( $F/L^2$ ).

### GUSCI

Il programma propone i risultati al "centro" di ogni elemento. Per ogni elemento e per ogni combinazione di carico statica vengono evidenziate:

- $S_{xx}$  ( $F/L^2$ );
- $S_{yy}$  ( $F/L^2$ );
- $S_{xy}$  ( $F/L^2$ );
- $M_{xx}$  ( $F \cdot L/L$ );
- $M_{yy}$  ( $F \cdot L/L$ );
- $M_{xy}$  ( $F \cdot L/L$ );
- $\sigma_{idsup}$  ( $F/L^2$ );
- $\sigma_{idinf}$  ( $F/L^2$ ).
- $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{xy}$  rappresentano le tensioni membranali (vedi figura)
- $M_{xx}$  rappresenta il momento flettente (per unità di lunghezza) che produce tensioni in direzione locale  $x$ ; analogamente per  $M_{yy}$ ;
- $M_{xy}$  rappresenta il momento torcente (sempre per unità di lunghezza).



Le tensioni ideali  $\sigma_{idsup}$  (al bordo superiore, ovvero sul semiasse positivo dell'asse locale z) e  $\sigma_{idinf}$  sono calcolate mediante il criterio di Huber-Hencky-Mises. I momenti flettenti generano ai bordi dell'elemento delle tensioni valutate in base al modulo di resistenza dell'elemento. Le tensioni da momento flettente  $M_{xx}$  si sovrappongono alle tensioni  $S_{xx}$ , con segno positivo al bordo superiore, con segno negativo al bordo inferiore (analogamente per  $M_{yy}$  e  $S_{yy}$ ). Gli effetti tensionali da momento torcente vengono sovrapposti a  $S_{xy}$ .

Le convenzioni sui segni dei momenti sono caratteristiche dei codici di calcolo automatici e sono mantenute solo nelle stampe dei risultati conseguenti all'elaborazione strutturale, nelle rappresentazioni grafiche e nelle stampe dei postprocessori vengono invece adottate le convenzioni tipiche della Scienza delle Costruzioni.

Nell'analisi dinamica, per ogni direzione sismica e per ogni elemento, viene indicato il modo che dà luogo all'effetto massimo, la risultante per sovrapposizione modale per  $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{xy}$ ,  $M_{xx}$ ,  $M_{yy}$ ,  $M_{xy}$ .

Nel calcolo degli involucri viene effettuata la sovrapposizione. Anche in questo caso vengono calcolate le tensioni ideali.

Nell'analisi statica e negli involucri dinamici, fra i risultati, alla fine di ogni gruppo vengono riportati i massimi delle tensioni (comprese quelle ideali) e dei momenti, nonché il numero dell'elemento e la combinazione di carico relativa.

## VINCOLI

In stampa vengono fornite, per ogni nodo vincolato, le reazioni corrispondenti ai vincoli assegnati. Per quanto concerne i versi si tenga presente che è stata adottata la convenzione tradizionale. In generale le forze vincolari (unità di misura F) sono positive se vanno nel verso dell'asse di riferimento, i momenti (F\*L) sono positivi se antiorari per un osservatore disposto lungo il corrispondente semiasse positivo; tali sollecitazioni tendono a contrastare deformazioni di segno opposto.

Per quanto concerne i vincoli comunque disposti nello spazio vale la stessa regola: se uno spostamento è positivo tende ad allontanare il nodo N da I; la conseguente reazione è di segno opposto, cioè negativa.

Nell'analisi dinamica, per ogni direzione, per ogni nodo vincolato, viene indicato il modo che dà luogo all'effetto massimo e il relativo valore; viene anche indicato il risultato complessivo calcolato a partire dai singoli effetti modali. Nella stampa degli involucri viene calcolata la risultante obbedendo alla modalità scelta dall'utente.

## Verifiche di sicurezza degli elementi

Diamo una breve descrizione delle simbologie adottate da MasterSap.

### VERIFICHE DI OPERE IN CEMENTO ARMATO CON IL METODO DEGLI STATI LIMITE

#### TRAVI, PILASTRI, SETTI E TRAVI DI FONDAZIONE

Fra le informazioni di testa per le travi è anche segnalata la componente del peso proprio e il carico medio. Per i soli pilastri oltre al numero strutturale dell'asta è anche indicato l'eventuale numero di pilastrata.

Le sollecitazioni sono riferite al sistema locale  $x, y, z$ . Vengono riportate, in ordine:

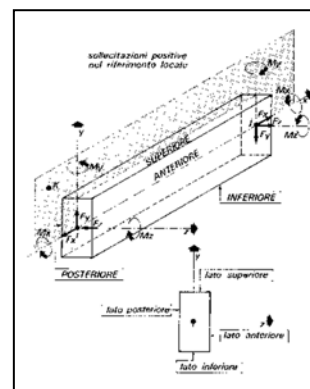
- numero combinazione di carico;
- ascissa di calcolo (cm);
- in sequenza  $F_x, F_y, F_z$  (F);  $M_x, M_y, M_z$  (F\*m).

Per le travi e le fondazioni viene applicata la regola della traslazione. In particolare il momento flettente viene incrementato, dove richiesto, del prodotto di  $F_y$  (o  $F_z$ ) con  $0.9*d$ , dove  $d$  è l'altezza utile corrispondente.

Per elementi trave di fondazione  $F_x, F_z, M_y$  sono generalmente nulli.

Le convenzioni adottate sui segni delle sollecitazioni sono (vedi figura):

- $F_x$  (sforzo normale) è positivo se di trazione;
- $F_y$  (forza tagliante) è positiva se agisce, a sinistra dell'ascissa interessata, nel verso positivo dell'asse locale corrispondente;
- $F_z$  (forza tagliante) è positiva se agisce, a sinistra dell'ascissa interessata, nel verso negativo dell'asse locale corrispondente;
- $M_x$  (momento torcente) è positivo se antiorario intorno a  $x$  a sinistra dell'ascissa in esame;
- $M_y$  (momento flettente) è positivo se tende le fibre posteriori, cioè quelle disposte nel verso negativo dell'asse  $z$ ;
- $M_z$  (momento flettente) è positivo se tende le fibre inferiori, cioè quelle disposte nel verso negativo dell'asse  $y$ .



Compiono poi nel tabulato gli ulteriori risultati:



- in sequenza, armatura posteriore, anteriore, inferiore, superiore ( $\text{cm}^2$ ); si noti che tali armature sono quelle totali. La sezione di due reggistaffe contribuisce in tutti e quattro i valori di armatura; per i pilastri circolari viene determinata e stampata l'armatura totale distribuita uniformemente su tutta la circonferenza;
- campo (di rottura): rappresenta il campo di rottura determinato dalla procedura di verifica; nel caso delle travi, qualora sia stata deselezionata la verifica a sforzo normale, il campo di rottura viene sostituito dal rapporto  $x/d$ ;
- indice di resistenza a presso-tensoflessione ( $F_x, M_y, M_z$ ): rappresenta il moltiplicatore delle sollecitazioni allo s.l.u., ovvero il rapporto fra la sollecitazione agente e quella resistente;
- indice di resistenza a taglio/torsione ( $F_y, F_z, M_x$ ) o indice di resistenza a taglio/torsione (Bielle) per NTC 2008: rappresenta l'indice di resistenza delle bielle compresse sollecitate a taglio e/o torsione;
- Indice di resistenza a taglio/torsione ( $V, M_x$ ): rappresenta l'indice di resistenza "taglio e torsione" per elementi che non necessitano di armatura trasversale.
- Indice di resistenza a scorrimento: compare solo nel caso di setti calcolati con l'Ordinanza 3431 e NTC 2008 e riporta l'indice di resistenza che si ricava dal rapporto fra la resistenza a scorrimento (vedi § 5.4.5.2 dell'Ordinanza e § 7.4.4.5.2.2 delle NTC/2008) e la sollecitazione di taglio.
- $asw_t, asw_o$ : in  $\text{cm}^2/\text{m}$  rappresenta l'area di armatura per unità di lunghezza derivante, rispettivamente, dall'effetto di taglio e torsione;
- passo staffe: in cm rappresenta il passo delle staffe derivante da  $asw_t$  e  $asw_o$  e dall'applicazione dei minimi di normativa.
- per i pilastri, nel caso NTC 2008, nelle colonne  $\alpha M_y$  e  $\alpha M_z$  vengono riportati i valori dei moltiplicatori delle sollecitazioni  $M_y$  ed  $M_z$  derivanti dal rispetto della gerarchia delle resistenze trave/pilastro.

Viene evidenziata, su una riga conclusiva apposita, l'involuppo delle armature in grado di resistere a tutte le situazioni. Per la sezione rettangolare viene riportata l'armatura aggiuntiva effettiva sui quattro lati, detraendo dall'armatura totale quella dei reggistaffe. Per la sezione circolare è invece sempre riportato il valore totale distribuito. Viene infine indicato il passo delle staffe calcolato o di normativa.

Alla fine del tabulato di progetto delle armature riguardante un'asta, se attivata l'opzione sulla combinazione dei carichi, la procedura propone uno specchietto che riepiloga nell'ordine:

- numero della combinazione di carico che dà luogo al momento massimo; tale sollecitazione può infatti derivare per effetto di una combinazione di carico spaziale di MasterSap (in questo caso viene riportato il relativo numero di combinazione o simbolo identificativo) o a causa della combinazione dei carichi permanenti e variabili o dell'eventuale momento di sicurezza (in questo secondo caso il contrassegno di combinazione è dato dal simbolo --);
- $xM_{max}$ ; ascissa dell'asta in cui si verifica il momento massimo positivo;
- $M_{max}$ ; valore del momento massimo positivo;
- $A_{inf}$ , D. inf agg.; armatura inferiore totale derivante dall'azione del momento massimo positivo, numero e diametro delle barre aggiuntive, come al solito, rispetto ai reggistaffe comunque presenti;
- $A_{sup}$ , D. sup agg.; valgono le stesse considerazioni di sopra, riferite all'armatura superiore;
- il rapporto  $x/d$  e l'indice di resistenza a flessione.

Nelle verifiche di esercizio per gli elementi vengono considerati i soli effetti del momento flettente  $M_z$ , ma per comodità dell'utente il tabulato riporta anche il valore delle altre sollecitazioni, incluse fra [ ] per significare che non entrano in gioco nella verifica. Per lo stesso motivo fra parentesi [ ] sono anche riportate le armature anteriori e posteriori.

- Apertura delle fessure  $w$  (mm): rappresenta l'ampiezza della fessura derivante dall'azione del momento flettente  $M_z$  all'ascissa indicata. La fessura si apre superiormente per  $M_z$  negativo, inferiormente per  $M_z$  positivo.

La freccia viene riportata nel prospetto specifico (che compare a fine trave) riguardante anche il momento massimo in campata.

Per i restanti tipi di elementi (pilastri e setti) viene effettuata la sola verifica delle tensioni di esercizio (non compaiono pertanto risultati sull'apertura delle fessure e sulla freccia). La sezione viene trattata a presso-tensoflessione, trascurando in questo caso l'eventuale contributo del calcestruzzo a trazione. Vengono ignorate agli effetti della verifica le sollecitazioni torcenti e di taglio, comunque riportate fra [ ] nei tabulati per memoria.

Se si verifica la necessità di armare a punzonamento le travi o le fondazioni viene determinata la sezione complessiva delle barre piegate, che andranno disposte parallelamente alle staffe della trave.

Vengono indicate:

- asta: numero dell'asta oggetto di verifica;
- ascissa  $x$  (cm): ascissa dell'asta;

- taglio: valore dell'azione di taglio complessiva agente al nodo;
- carico limite di punzonamento;
- coefficiente di sicurezza al punzonamento;
- armatura piegati a punzonamento ( $\text{cm}^2$ ), eventuale.

#### Considerazioni per l'analisi dinamica.

I risultati dinamici considerati sono quelli ottenuti per inviluppo, a seconda della modalità scelta. Si possono generare diverse combinazioni risultanti (sovrapposizione degli effetti statici e degli effetti dinamici) indicate nei tabulati con delle lettere.

Per quanto riguarda gli effetti dinamici si tenga presente che il segno degli inviluppi è sempre positivo e che le norme impongono che tali risultati siano considerati anche con segno opposto.

#### ***I RISULTATI PER I PLINTI***

Viene riportato il nodo di attacco del plinto e le informazioni su sezione e peso proprio. Il peso proprio del plinto viene incrementato di un fattore moltiplicativo 1.4.

Vengono anche indicate le sollecitazioni esterne agenti, riferite agli assi locali. Lo sforzo normale  $N$  viene qui riportato con segno positivo se di compressione, come di norma avviene.  $F_y$  e  $F_z$  esprimono le reazioni vincolari taglianti, positive se agenti nel verso del rispettivo asse.

In caso di analisi dinamica il risultato dinamico viene preso con lo stesso segno di quello statico. La combinazione derivante da tale sovrapposizione è indicata con la lettera A.

Viene indicato:

- ascissa di calcolo (cm); la verifica viene attuata sugli assi locali  $y$  e  $z$ , prima sul semiasse positivo e poi su quello negativo;
- momento flettente ( $F \cdot m$ ) e relativa combinazione di massimo: viene effettuata la verifica per tutte le combinazioni di carico agenti, riportando, fra parentesi, solo quella che ha generato il massimo effetto; il momento è riferito all'intera sezione rettangolare in esame (che per le ascisse secondo  $y$  ha dimensioni  $B$  in larghezza e  $h$  in altezza, mentre secondo  $z$  vale rispettivamente  $H$  e  $h$ );
- sforzo tagliante ( $F$ ) e relativa combinazione di massimo: valgono considerazioni analoghe a quelle del momento flettente, riferite allo sforzo di taglio;
- armatura inferiore ( $\text{cm}^2$ ) e passo delle barre: viene calcolata l'armatura totale minima necessaria a supportare il momento flettente e il relativo passo delle barre;

- armatura superiore ( $\text{cm}^2$ ) e passo delle barre: analogamente all'armatura inferiore; quella superiore è generalmente nulla, in quanto situata in zona compressa, dove la presenza del calcestruzzo è già sufficiente a sostenere le azioni presenti;
- indice di resistenza a flessione;
- indice di resistenza a taglio;
- per ogni combinazione di carico dichiarata allo s.l.u. si ricava la pressione ultima sul terreno. Si determina l'area efficace che dipende dalle due eccentricità  $e_y$  ed  $e_z$  e si ricava lo sforzo normale ultimo  $F_{xult}$  (corrispondente alla pressione qult) da cui deriva, in relazione all' $F_x$  esterno agente, l'indice di resistenza finale;
- per ogni combinazione di carico dichiarata allo s.l.e. si determina la pressione effettiva sul suolo che si confronta con la capacità portante, determinata riducendo la pressione ultima sul terreno in base al fattore di sicurezza stabilito in tabella.

Viene infine calcolato il carico limite di punzonamento e il coefficiente di sicurezza al punzonamento (con relativa combinazione più gravosa). Se il coefficiente di sicurezza al punzonamento scende sotto il valore 1 viene calcolata la sezione delle barre piegate per ognuna delle due direzioni ortogonali.

### ***I RISULTATI PER ELEMENTI GUSCIO***

Il tabulato riporta:

- numero elemento in esame.;
- numero combinazione di carico;
- $N_{xx}$  (F),  $M_{xx}$  (F\*m),  $N_{yy}$  (F),  $M_{yy}$  (F\*m): sollecitazioni di sforzo normale e momento flettente; le sollecitazioni con indice xx producono tensioni in direzione locale xx; analogamente per yy. Si tenga presente che gli sforzi normali sono positivi se di trazione, i momenti flettenti sono positivi se tendono le fibre inferiori.

Successivamente vengono riportati gli esiti della verifica:

- $A_{xx}$  inf,  $A_{xx}$  sup,  $A_{yy}$  inf,  $A_{yy}$  sup ( $\text{cm}^2$ ): le armature in direzione xx risultano dalla verifica a presso-tensoflessione effettuata sulla base di  $N_{xx}$  e  $M_{xx}$ ; analogamente per yy; le sollecitazioni sono calcolate per un tratto pari al passo;
- indici di resistenza per le verifica a pressoflessione, a taglio nel piano e a taglio fuori piano. Per il taglio nel piano si controlla che  $S_{xy} \leq f_{cd}/(f_{ck})^{1/2}$ ; l'indice di resistenza a taglio è il rapporto fra il primo e il secondo termine della disuguaglianza;

- il taglio fuori piano (chiamato  $V_z$ ), agente lungo l'asse locale  $z$  ortogonale all'elemento, viene perciò utilmente confrontato con il taglio limite  $V_{rd1}$  contemplato per sezioni sprovviste di armatura a taglio.

I risultati della verifica a punzonamento si riferiscono alla situazione più sfavorevole che determina il valore più elevato dell'azione di punzonamento.

Vengono riportati:

- forza di punzonamento (valore dell'azione di punzonamento agente al nodo);
- carico limite di punzonamento;
- se necessaria: armatura totale teorica nella 1<sup>a</sup> direzione locale ( $\text{cm}^2$ ), ovvero parallelamente all'asse locale  $y$  del pilastro;
- analogamente per la 2<sup>a</sup> direzione, parallela all'asse locale  $z$ .

### ***I RISULTATI PER LE PARETI***

Il tabulato ricalca parzialmente quello degli elementi guscio in cui viene però esplicitata l'armatura verticale e orizzontale

I risultati della verifica riguardano innanzitutto le azioni di presso flessione. L'indice di resistenza a taglio riguarda il rapporto fra l'azione tagliante nell'elemento e la corrispondente  $V_{rd2}$ . E' riportato l'indice della verifica a scorrimento (§ 5.4.5.2 dell'Ordinanza).

## **Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità**

Il programma di calcolo utilizzato MasterSap è idoneo a riprodurre nel modello matematico il comportamento della struttura e gli elementi finiti disponibili e utilizzati sono rappresentativi della realtà costruttiva. Le funzioni di controllo disponibili, innanzitutto quelle grafiche, consentono di verificare la riproduzione della realtà costruttiva ed accertare la corrispondenza del modello con la geometria strutturale e con le condizioni di carico ipotizzate. Si evidenzia che il modello viene generato direttamente dal disegno architettonico riproducendone così fedelmente le proporzioni geometriche. In ogni caso sono stati effettuati alcuni controlli dimensionali con gli strumenti software a disposizione dell'utente. Tutte le proprietà di rilevanza strutturale (materiali, sezioni,

carichi, sconnessioni, etc.) sono state controllate attraverso le funzioni di indagine specificatamente previste.

Sono state sfruttate le funzioni di autodiagnostica presenti nel software che hanno accertato che non sussistono difetti formali di impostazione.

E' stato accertato che le risultanti delle azioni verticali sono in equilibrio con i carichi applicati.

Sono state controllate le azioni taglianti di piano ed accertata la loro congruenza con quella ricavabile da semplici ed agevoli elaborazioni. Le sollecitazioni prodotte da alcune combinazioni di carico di prova hanno prodotto valori prossimi a quelli ricavabili adottando consolidate formulazioni ricavate della Scienza delle Costruzioni. Anche le deformazioni risultano prossime ai valori attesi. Il dimensionamento e le verifiche di sicurezza hanno determinato risultati che sono in linea con casi di comprovata validità, confortati anche dalla propria esperienza.

## **Informazioni integrative sull'uso dei codici di calcolo**

### ***Codice di calcolo adottato, solutore e affidabilità dei risultati***

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore Studio Software AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito ([www.amv.it](http://www.amv.it)) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene pertanto sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento.

Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine.

Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore.

Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di *Lanczos* noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo.

Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria *LAPACK*.

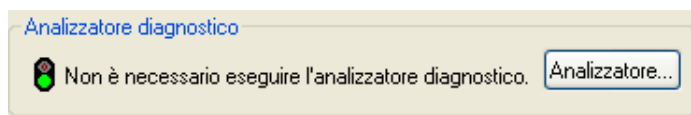
L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica.

Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito [www.amv.it](http://www.amv.it).

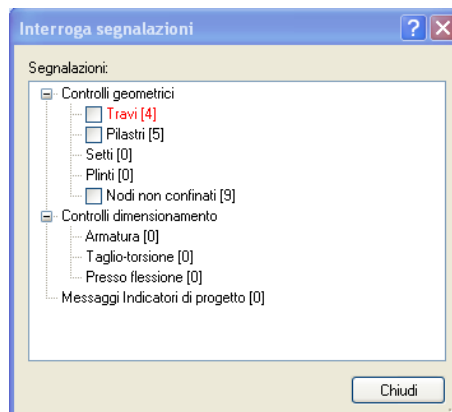
E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture.

In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente.



Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per il c.a., acciaio, legno, alluminio, muratura etc.

Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla



geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati.

Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidità del sistema.

Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire delle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni.