



# REGIONE TOSCANA

Direzione mobilità, infrastrutture e trasporto pubblico locale  
Settore viabilità regionale ambiti Firenze-Prato e Pistoia

## NUOVO PONTE SUL FIUME ARNO E RELATIVI COLLEGAMENTI VIARI TRA LO SVINCOLO DELLA SGC FI-PI-LI DI LASTRA A SIGNA E DI SIGNA CIG: 95482064DA - CUP: D91B21005300001

### OFFERTA TECNICA



### 08 - STRUTTURE - OPERE D'ARTE MINORI

Descrizione elaborato

Sottopasso sezione 30 - Relazione di calcolo

Data  
Giugno 2023

Codice interno	Livello	Ambito	Tipo	Numero	Rev.
23007	PD	STR	R	03	00

#### Raggruppamento Temporaneo di Imprese:

Mandataria:



**CONSORZIO STABILE  
ON SITE SCARL**  
Via delle Porcellane, 5 - 50019 Sesto  
Fiorentino (FI)  
P. IVA: 07226860489  
E-Mail: [info@consorziostabileonsite.com](mailto:info@consorziostabileonsite.com)

Mandante:



**GIUGLIANO COSTRUZIONI METALLICHE S.r.l.**  
Zona INDUSTRIALE ASI Marcianise Sud  
81025 MARCIANISE (CE)  
P. IVA: 04312731211  
E-Mail: [info@giuglianocostruzionimetalliche.com](mailto:info@giuglianocostruzionimetalliche.com)

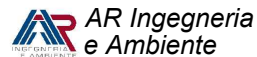
#### Redazione Offerta Tecnica e Progetto Definitivo:



**DP INGEENERIA S.R.L.**  
Società di Ingegneria Civile

DP INGEENERIA [info@dpingegneria.com](mailto:info@dpingegneria.com) - [www.dpingegneria.com](http://www.dpingegneria.com)

ASSOCIATO



Prof. Ing. Stefano **Pagliara**

Ing. Massimo **Ascoli**

Prof. Ing. Alessandro **Marradi**

Dott. Paolo **Turin**

Consulenza:

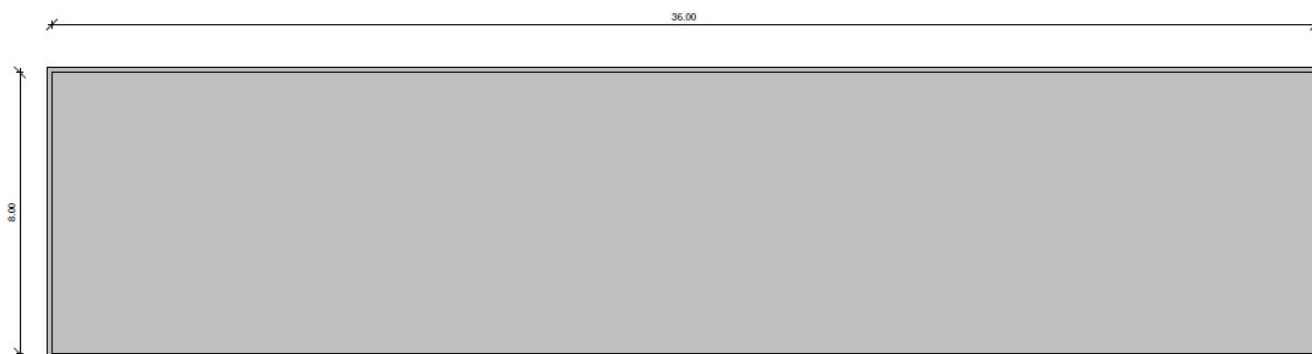
Prof. Ing. Walter **Salvatore**

Prof. Ing. Nunziante **Squeglia**



## 1. Premessa

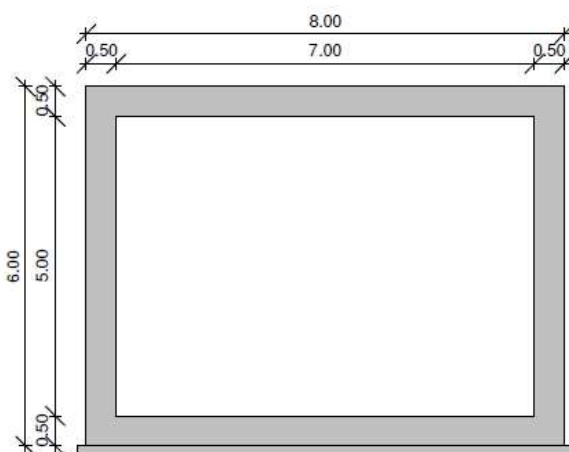
La seguente relazione di calcolo è inerente alla progettazione e alla verifica dello scatolare da realizzare nell'area della sezione 30. Lo scatolare verrà realizzato in c.a.. Si riporta uno screen con la vista in pianta, sezione longitudinale e sezione trasversale:



Scatolare sezione 30 - Vista in pianta scatolare



Scatolare sezione 30 - Sezione longitudinale



Scatolare sezione 30 – Sezione trasversale

Nel seguito di questa relazione viene riportata la normativa adottata, i carichi applicati con l'esito delle verifiche.

A.T.I.

MANDATARIA



MANDANTE



REDAZIONE DI GARA E PROGETTO DEFINITIVO:



DP INGENIERIA S.R.L.  
Società di Ingegneria Civile  
Viale San Concordio, 1180 - 55100 LUCCA  
Tel: 0583 391194 - P.IVA: 02486940469



Prof. Ing. A. Marradi | Prof. Ing S. Pagliara | Ing. M. Ascoli | Dott. P. Turin

CONSULENZA:

PAGINA

Prof. Ing. W.  
Salvatore  
Prof. Ing. N.  
Squeglia

1



## **2. Normativa di riferimento**

**D.M. 14 Gennaio 2018** - NTC2008 - « *Norme tecniche per le costruzioni* »

**Circolare Applicativa al NTC2018** – Circ. Appl. NTC2008

**Allegato A alle norme tecniche per le costruzioni** – « *Pericolosità Sismica* »

**Allegato B alle norme tecniche per le costruzioni** – « *Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica* »

**Linee guida sul calcestruzzo strutturale** – Presidenza del Consiglio dei Lavori Pubblici – Servizio Tecnico Centrale

## **3. Relazione sui materiali**

**Calcestruzzo**

I calcestruzzi sono conformi alla norma UNI EN 13670-1: 2001

- calcestruzzo magro per getti di pulizia e livellamento:
  - classe di resistenza minima ..... C12/15
  - resistenza cubica a compressione .....  $R_{ck} \geq 15 \text{ MPa}$
  - resistenza cilindrica caratteristica a compressione .....  $f_{ck} = 12,45 \text{ MPa}$
  - modulo elastico .....  $E_c = 27267 \text{ MPa}$
- calcestruzzo per il getto dello scatolare e delle rampe di accesso:
  - classe di resistenza minima ..... C32/40
  - resistenza cubica a compressione .....  $R_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$
  - resistenza cilindrica caratteristica a compressione .....  $f_{ck} = 33,2 \text{ MPa}$
  - modulo elastico .....  $E_c = 33642 \text{ MPa}$
  - classe di esposizione ..... XC2 – XC3

**Acciaio per cemento armato**

- Tipo di acciaio: tipo B450C
- tensione nominale di snervamento  $f_{y \text{ nom}} \geq 450 \text{ MPa}$
- tensione nominale di rottura  $f_{t \text{ nom}} \geq 540 \text{ MPa}$



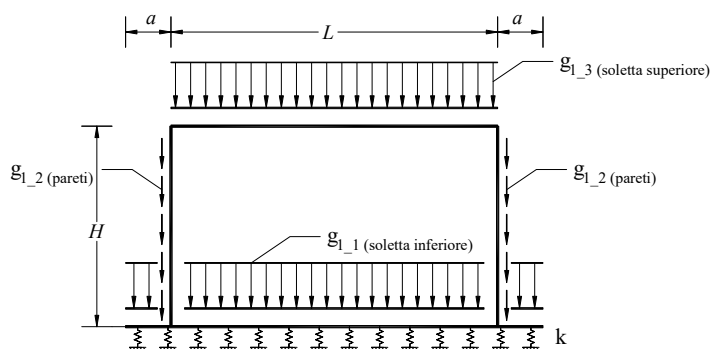
#### 4. Analisi dei carichi applicati

##### Azioni permanenti

##### Peso Proprio degli elementi strutturali ( $g_1$ )

Il peso proprio degli elementi strutturali è stato calcolato considerando le dimensioni nominali dei vari elementi che compongono la struttura. Il peso specifico del calcestruzzo è stato assunto pari a  $25 \text{ kN/m}^3$ .

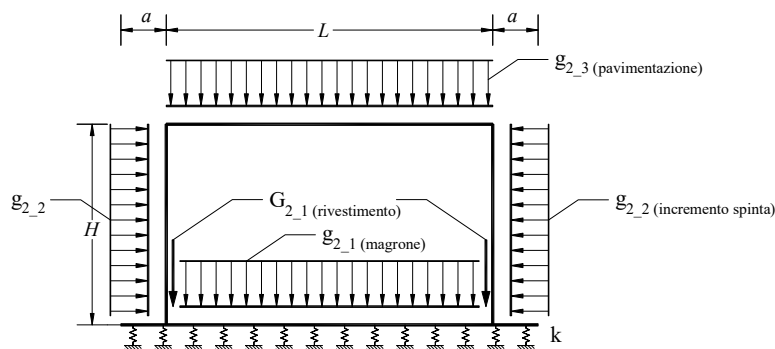
Lo schema di distribuzione dei carichi è riportato nella figura seguente.



##### Peso Proprio degli elementi non strutturali ( $g_2$ )

Per la pavimentazione stradale, si considera un peso specifico pari a  $3 \text{ kN/m}^2$ .

Lo schema di distribuzione dei carichi è riportato nella figura seguente.



Per l'incremento della spinta del terreno, associata al carico  $g_2$  sul terrapieno, operando a favore di sicurezza, si è assunto un coefficiente di spinta a riposo pari a  $K_0=0,531$ , associato ad un angolo di attrito interno del terreno pari a  $\varphi=28^\circ$ .

##### Altri carichi permanenti ( $g_{2t}$ )

A.T.I.



MANDANTE



REDAZIONE DI GARA E PROGETTO DEFINITIVO:



OP INGENGERIA SRL  
Società di Ingegneria Civile  
Viale San Concordio, 1180 - 55100 LUCCA  
Tel: 0583 391194 - P.IVA: 02486940469



Prof. Ing. A. Marradi | Prof. Ing. S. Pagliara | Ing. M. Ascoli | Dott. P. Turin

CONSULENZA:

PAGINA

Prof. Ing. W. Salvatore

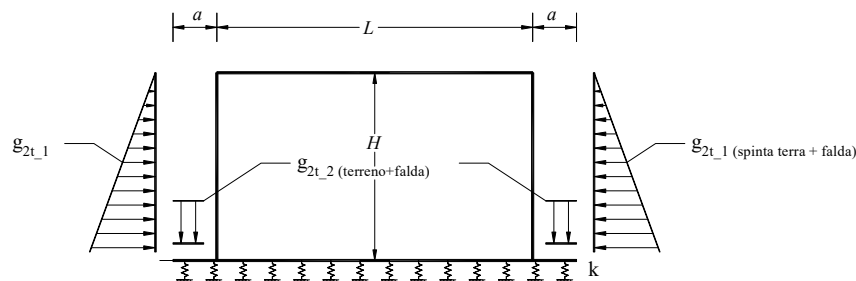
Prof. Ing. N. Squeglia

3





Sulle pareti dello scatolare agisce la spinta della terra, essa è ipotizzata variare linearmente in funzione della profondità, secondo lo schema indicato in figura. Una componente verticale del peso del terreno è supposto anche agire sugli sbalzi della zattera di fondazione.



I valori delle azioni sono i seguenti

$$g_{2t\_1} \text{ (spinta terra + acqua)} = 0 \div 49,87 \text{ kN/m}$$

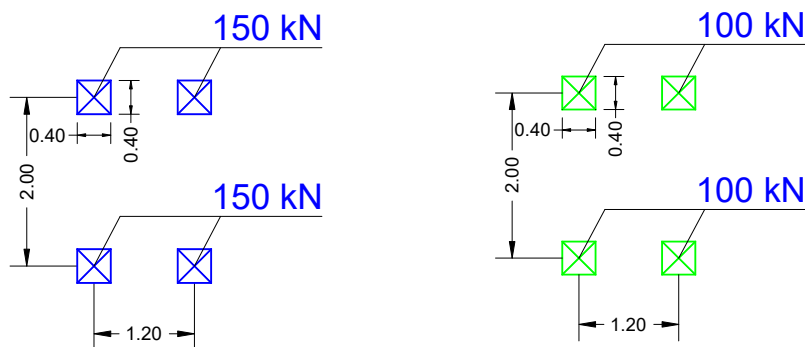
$$g_{2t\_2} \text{ (peso terra + acqua)} = 24,82 \text{ kN/m}$$

Per il calcolo della spinta del terreno, operando a favore di sicurezza, si è assunto un coefficiente di spinta a riposo pari a  $K_0=0,531$ , associato ad un angolo di attrito interno del terreno pari a  $\varphi=28^\circ$ . Il peso specifico del terreno è stato assunto pari a  $\gamma=19,20 \text{ kN/m}^3$ . Il livello della falda è assunto pari alla quota di estradosso dello scatolare.

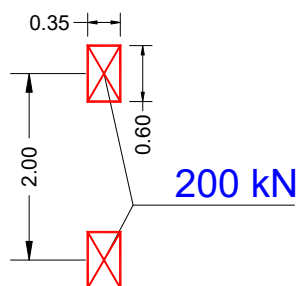
## Azioni variabili da traffico

Al fine di valutare l'azione indotta dai carichi da traffico sulla struttura in questione, sono state prese in considerazione tre differenti casi di carico.

Per la valutazione delle caratteristiche della sollecitazione di progetto agenti sulla soletta superiore dello scatolare, si sono prese in considerazione, nella posizione di volta in volta più gravosa, due schemi di carico di tipo 1 affiancati (p.to 5.1.3.3.3 del NTC2018), costituiti da carichi concentrati su due assi in tandem, applicate su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato di 40 cm, o, in alternativa, uno schema di carico di tipo 2 (p.to 5.1.3.3.3 del NTC2018), costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare di larghezza pari a 60 cm e altezza uguale a 35 cm, così come mostrato nelle figure seguenti:

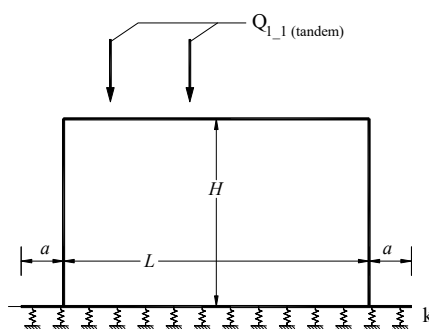


Carico Tandem dello Schema di Carico n.1



Schema di Carico n.2

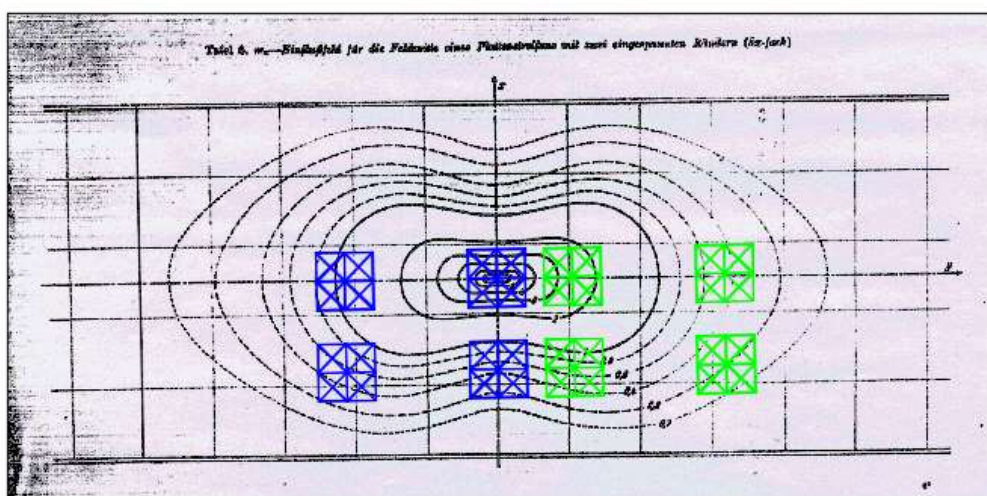
Le effettive impronte di carico sono state quindi incrementate, rispettivamente, a 75×75 e 70×95 al fine di considerare una diffusione del carico all'interno della soletta.



Sezione di mezzzeria – momento flettente in direzione x

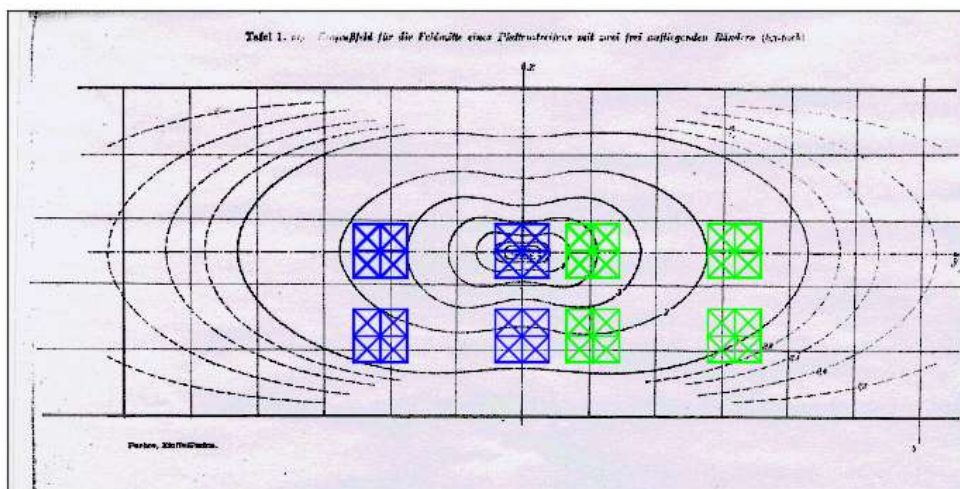
Le caratteristiche di sollecitazione per i carichi di tipo concentrato sono state individuate mediante l'impiego delle superfici di influenza riportate nel seguito. Per il calcolo del momento flettente  $M_x$  in mezzzeria, lo schema statico adottato è stato quello di piastra indefinitamente lunga, con una condizione di vincolo di semincastro agli appoggi, condizione ottenuta mediando i valori associati alla piastra completamente incastrata lungo i bordi longitudinali e a quella in semplice appoggio.

Nel seguito si riportano le condizioni di maggior impegno per la struttura.





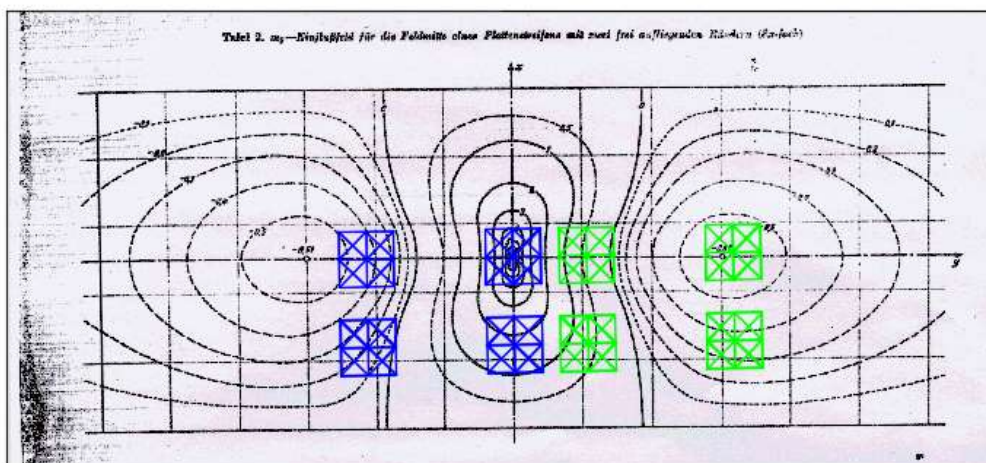
Superficie di influenza per il momento flettente  $M_x$  – Vincolo di incastro



Superficie di influenza per il momento flettente  $M_x$  – Vincolo di appoggio semplice

Sezione di mezzeria – momento flettente in direzione y

Le caratteristiche di sollecitazione per i carichi di tipo concentrato sono state individuate mediante l'impiego delle superfici di influenza riportate nel seguito. Per il calcolo del momento flettente  $M_y$  in mezzeria, lo schema statico adottato è stato quello di piastra indefinitamente lunga, con una condizione di vincolo di semplice appoggio (maggiormente cautelativo al fine della verifica strutturale).



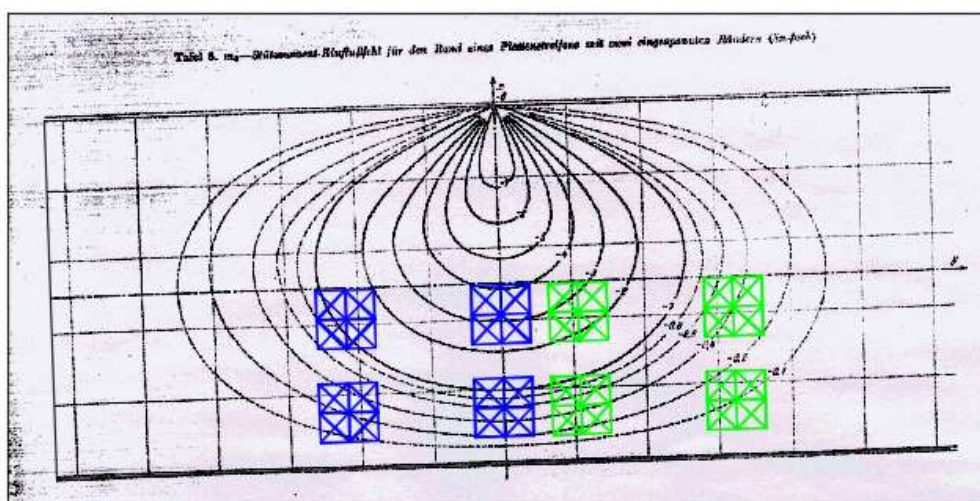
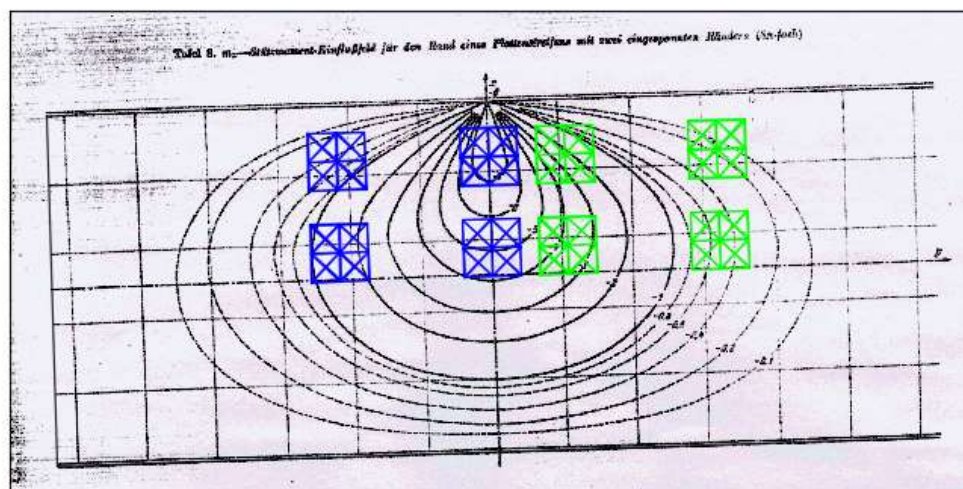
Superficie di influenza per il momento flettente  $M_y$  – Vincolo di appoggio semplice

Sezione di appoggio – momento flettente in direzione x

Le caratteristiche di sollecitazione per i carichi di tipo concentrato sono state individuate mediante l'impiego della superficie di influenza riportata nel seguito. Per il calcolo del momento flettente  $M_x$  all'appoggio, lo schema statico adottato è stato quello di piastra indefinitamente lunga, con una condizione di incastro perfetto ai bordi.

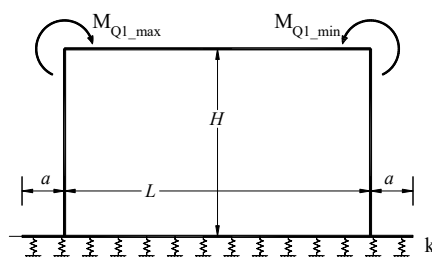
Nel seguito si riportano le condizioni di maggior impegno per la struttura.





Superficie di influenza per il momento flettente  $M_x$  – Vincolo di incastro

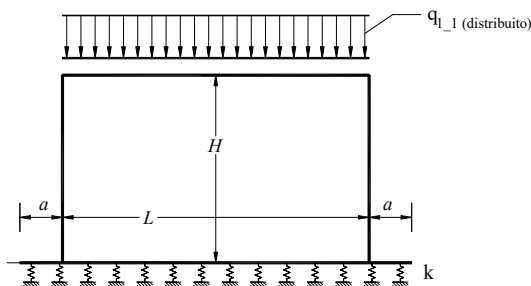
L'azione sulla rimanente parte di struttura è stata quindi messa in conto applicando ai nodi superiori del modello le coppie di incastro perfetto derivanti dalla condizione più gravosa della soletta (sul modello a telaio, il contributo dovuto alle reazioni verticali risulta trascurabile, in quanto tali forze agiscono verticalmente in modo diretto sulle pareti dello scatolare che, a loro volta, ne diffondono l'azione a tutta la struttura).







Una seconda configurazione di carico è quella che considera la componente di traffico uniformemente ripartita sulla soletta. Lo schema di distribuzione delle azioni e delle reazioni associate ai carichi è riportato nella figura seguente.



$$q_{1\_1} (\text{carico distribuito}) = 9,00 \text{ kN/m}$$

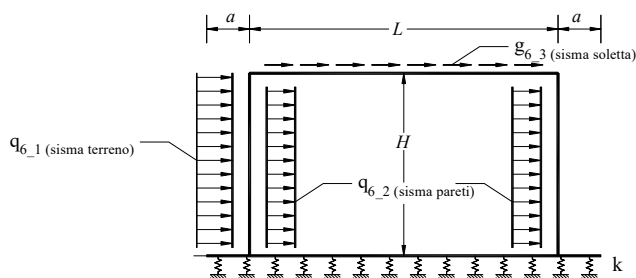
Una terza e ultima configurazione di carico per il traffico considera il carico distribuito e il carico tandem agente sul terrapieno a margine dello scatolare. Analogamente al calcolo delle spalle, dei muri d'ala e delle altre parti di ponti a contatto con il terreno, sul rilevato o sul terrapieno si è considerato applicato lo schema di carico 1 di normativa, in cui, per semplicità, i carichi tandem sono stati sostituiti da carichi uniformemente distribuiti equivalenti, applicati su una superficie rettangolare larga 3,0 m e lunga 2,20 m.

## Azioni sismiche

Per l'azione sismica, gli effetti sono stati valutati convenzionalmente mediante un'analisi statica equivalente, attuata applicando delle forze statiche equivalenti,  $F_i$ , in sostituzione alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica.

L'entità delle forze è stata valutata tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali dovuti al peso proprio strutturale, ai pesi propri degli elementi non strutturali agenti permanentemente sulla struttura e a una percentuale pari al 20% dei carichi da traffico.

Lo schema di distribuzione delle azioni e delle reazioni associate ai carichi è riportato nella figura seguente.



Nel seguito, si riporta lo studio dell'azione sismica per lo scatolare in progetto. L'analisi è stata condotta considerando le indicazioni normative riportate nel D.M. 14/01/2018, e dall'Allegato A dello stesso D.M., nonché i valori dei parametri sismici elencati nell'Allegato B della medesima Norma. Si riportano, inoltre, le ipotesi e i parametri impiegati nella progettazione sismica della struttura.

## Vita Nominale – Classe d'uso – Periodo di riferimento

La vita nominale,  $V_N$ , della presente struttura è stata assunta pari a:



$V_N=100$  anni..... Vita nominale;

Poiché lo scatolare rientra tra le costruzioni di *Classe II*, il coefficiente d'uso corrispondente vale

$C_U=1,0$  ..... Coef. d'uso relativo alla Classe d'uso II

L'azione sismica sulla struttura è stata valutata sulla base del periodo di riferimento,  $V_R$ , ottenuto moltiplicando la vita nominale dell'opera,  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$V_R=V_N C_U=100$  anni

### Fattore di struttura

Per quanto riguarda il manufatto, il fattore di struttura sia per le azioni sismiche orizzontali sia per quelle verticali è stato posto unitario.

### Definizione delle azioni

L'azione sismica significativa per la struttura in progetto è caratterizzata da una componente orizzontale orientata lungo la direzione trasversale dello scatolare. Questa è descritta mediante un opportuno spettro di risposta in accelerazione, definito a partire dai parametri riportati nel seguito.

### Stati Limite e relative Probabilità di Superamento

Il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito:

- nei confronti degli stati limite di esercizio, qualora siano rispettate le verifiche relative allo stato limite di danno (SLD);
- nei confronti degli stati limite ultimi, qualora siano soddisfatte le verifiche relative allo stato limite di vita (SLV).

Le probabilità di superamento  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento, da considerare per l'individuazione dell'azione sismica per ciascuno degli stati limite considerati, sono (Tb. 3.2.1 del NTC2008)

Stato Limite	Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ $P_{VR}$
SLD	63%
SLV	10%

dalle quali, mediante la formula

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad \text{Eq. [1] dell'Allegato A alle NTC2008}$$

si ottengono i seguenti tempi di ritorno dell'azione sismica:

Stato Limite	Tempo di ritorno dell'azione sismica $T_R$
SLD	100 anni
SLV	950 anni

A.T.I.



MANDANTE



REDAZIONE DI GARA E PROGETTO DEFINITIVO:



Prof. Ing. A. Marradi | Prof. Ing. S. Pagliara | Ing. M. Ascoli | Dott. P. Turin

CONSULENZA:

PAGINA

Prof. Ing. W. Salvatore  
Prof. Ing. N. Squeglia

9



## Caratteristiche del sottosuolo e condizioni topografiche

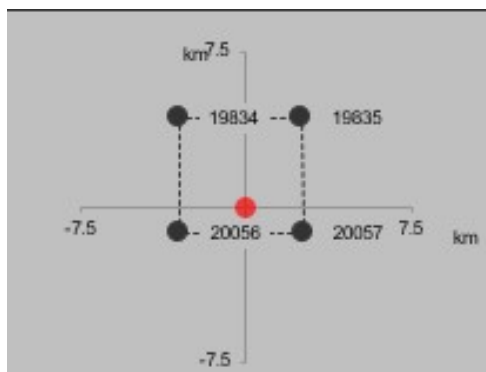
Per le caratteristiche del sito ove andrà ad essere realizzata la struttura in progetto si è considerata una categoria di sottosuolo **TIPO C** e una condizione topografica **T1**.

## Descrizione del moto sismico in superficie e sul piano di fondazione

Al fine di valutare i parametri per la definizione delle forme spettrali si è considerata l'ubicazione della costruzione in oggetto, identificabile con le coordinate geografiche:

$\lambda=43,7723$ .....Latitudine

$\lambda=11$ .....Longitudine;



facendo riferimento ai nodi n. 19603-19604-19825-19826 del reticolo riportati nell'allegato B del NTC2008, mediante interpolazione, si è ottenuto:





Stato Limite di Riferimento	Tempo di ritorno dell'azione sismica - $T_R$ [anni]	$a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLD	101	0,068	2,608	0,280
SLV	949	0,162	2,385	0,310

essendo:

$a_g$ : ..... accelerazione orizzontale massima del terreno;

$F_0$ : ..... valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

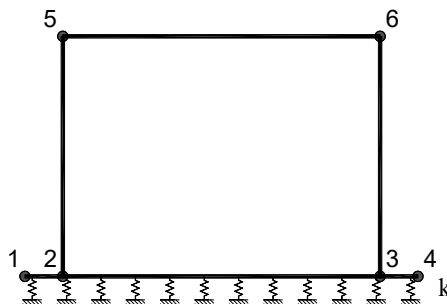
$T_c^*$ : ..... periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale.

## 5. Modello di calcolo

Al fine di valutare le sollecitazioni agenti sulla struttura si è fatto riferimento al modello strutturale descritto nel seguito.

Il modello meccanico agli elementi finiti è stato realizzato mediante un insieme di travi rettilinee connesse ai loro estremi, così da riproporre la geometria della sezione trasversale del manufatto in questione. A favore di sicurezza, si è analizzata una striscia di struttura di profondità pari a un metro, trascurando quindi i vantaggi derivanti da un comportamento a piastra dei vari elementi che compongono la sezione dello scatolare. Soltanto per la soletta superiore si è considerato un comportamento a piastra, per la condizione di carico associata ai carichi concentrati di normativa.

Nella figura seguente si riporta lo schema di calcolo adottato:



Sezione	Forma	B [cm]	H [cm]	Materiale	$E_{Cl}$ [MPa]
Soletta Inferiore	Rettangolare	750	50	Cl	33600
Soletta Superiore	Rettangolare	750	50	Cl	33600
Pareti	Rettangolare	50	650	Cl	33600

## Costante di Winkler

Per schematizzare il comportamento di interazione tra manufatto e terreno, si è considerato lo scatolare vincolato all'intradosso su un letto di molle di costante elastica pari a:



$k = 1 \text{ daN/cm}^3$

## 6. Combinazioni di carico

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

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

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

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

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

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

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

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

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

Combinazione Sismica (SLD e SLV), impiegata per gli stati limite connessi all'azione sismica

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



## REGIONE TOSCANA

Direzione mobilità, infrastrutture e trasporto pubblico locale  
Settore viabilità regionale ambiti Firenze-Prato e Pistoia

NUOVO PONTE SUL FIUME ARNO E RELATIVI COLLEGAMENTI VIARI TRA LO SVINCOLO DELLA SGC FI-PI-LI DI LASTRA A SIGNA E DI SIGNA  
CIG: 95482064DA - CUP: D91B21005300001

### **7. Risultati del modello di calcolo ed esiti delle verifiche strutturali**

E' stato fatto girare il modello di calcolo secondo le combinazioni più gravose. I risultati delle verifiche hanno dato tutti esiti positivi.

A.T.I.

MANDATARIA



MANDANTE



REDAZIONE DI GARA E PROGETTO DEFINITIVO:



OP INGEGERIA SRL  
Società di Ingegneria Civile  
info@opingegneria.com - www.opingegneria.com  
Viale San Concordio, 1180 - 55100 LUCCA  
Tel: 0583 391194 - P.IVA: 02486940469



Prof. Ing. A. **Marradi** | Prof. Ing S. **Pagliara** | Ing. M. **Ascoli** | Dott. P. **Turin**

CONSULENZA:

PAGINA

Prof. Ing. W.  
**Salvatore**  
  
Prof. Ing. N.  
**Squeglia**

13