



## LA TECNICA DELLO SCATOLARE A SPINTA

Prof. Ing. Giulio Dondi

### SCATOLARI A SPINTA

La *"tecnica dello spingitubo"* consiste nella realizzazione di un sottopassaggio mediante la prefabbricazione, in apposito cantiere a lato del rilevato, di un monolite e la successiva infissione del manufatto, con sistema oleodinamico, all'interno del terrapieno stradale o ferroviario

Tale tecnica presenta i seguenti vantaggi:

- Mantenimento dell'esercizio della via di comunicazione interessata dall'attraversamento sotterraneo
- Notevole riduzione delle strutture di sostegno della linea di comunicazione
- Rapidità operativa
- Minimi rischi di cantiere
- Installazione del tunnel contemporaneamente alla realizzazione dello scavo
- Riduzione dell'impatto ambientale
- Costi inferiori rispetto a quelli caratterizzanti una tecnologia esecutiva di tipo tradizionale

## FASI OPERATIVE

La **"tecnica dello spingitubo"** consiste nella realizzazione di un sottopassaggio mediante la prefabbricazione, in apposito cantiere a lato del rilevato, di un monolite e la successiva infissione del manufatto, con sistema oleodinamico, all'interno del terrapieno stradale o ferroviario

Il monolite viene messo in opera attraverso le seguenti fasi operative:

1. Costruzione della platea di varo
2. Prefabbricazione del monolite
3. Consolidamento del terreno del rilevato
4. Ubicazione delle apparecchiature di sostegno dei binari
5. Realizzazione del muro di contrasto ed inserimento dei martinetti
6. Infissione del monolite nel terrapieno ed opere di completamento del sottopassaggio

1

## COSTRUZIONE DELLA PLATEA DI VARO

il **cantiere di varo** viene scavato a lato del terrapieno con profondità dipendente dall'altezza del monolite, in rapporto all'altezza del rilevato, e larghezza tale da fornire lo spazio minimo necessario allo svolgimento in sicurezza dei lavori

### Platea di varo



- Soletta in calcestruzzo armato
- Spessore di 40 cm
- Le dimensioni perimetrali permettono il contenimento del monolite e lo svolgimento di tutte le lavorazioni
- L'armatura è formata da una maglia inferiore 20x20 cm con ferri rispettivamente  $\Phi$  10 mm in direzione trasversale e  $\Phi$  12 mm in direzione longitudinale e da una maglia superiore analoga alla precedente, collegata alla precedente mediante ferri ripartitori, staffe ed armature secondarie di coordinamento

1

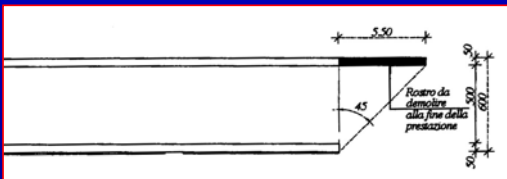
## COSTRUZIONE DELLA PLATEA DI VARO



- La platea viene dimensionata in base all'azione flessionale prodotta dai pesi propri della soletta e del monolite e dalla reazione del terreno di fondazione
- È dotata di una o due guide laterali con altezza 1.00 m e spessore 1.60 m, la cui funzione è quella di mantenere il monolite nella via di corsa corretta durante l'infissione
- Nell'estradosso della soletta, prima della prefabbricazione del monolite, si stende un telo di polietilene oppure un letto di listelle di legno e sabbia, per diminuire l'attrito al contatto e favorire il distacco e lo scorrimento del manufatto
- Durante la fase di spinta, per permettere la traslazione del manufatto, si prolunga la platea di varo fino al piede del terrapieno mediante una soletta di ripresa in calcestruzzo non armato

2

## COSTRUZIONE DELLO SCATOLARE



- Viene progettato a sezione rettangolare cava dimensionata staticamente come telaio chiuso sollecitato sia dai carichi in esercizio sia dagli sforzi di infissione
- L'asse longitudinale del manufatto, durante la costruzione, deve essere orientato come in opera
- Le fasi costruttive riguardano in successione i seguenti elementi: soletta inferiore, pareti laterali e soletta superiore
- La parte anteriore presenta il *rostro di infissione*, ossia è inclinata di 45° e sagomata a tagliente per facilitare l'inserimento del manufatto nel terrapieno

## 2

## COSTRUZIONE DELLO SCATOLARE

- Nella parte posteriore, prima della messa in opera del manufatto, vengono realizzati i *muri paraterra*

### Muri Paraterra

- contengono il terreno della scarpata del rilevato una volta in opera

- Costituiscono un contrappeso durante la fase di infissione, evitando l'inclinazione dell'asse longitudinale del manufatto verso il basso

- L'inerzia della sezione ad U formata dai muri d'ala e dalla soletta inferiore è diversa da quella afferente alla sezione chiusa



Nella fase di infissione in corrispondenza delle sezioni critiche possono quindi insorgere tensioni massime responsabili della fessurazione del monolite con conseguente bisogno di giunti

## 3

## PRECONSOLIDAMENTO DEL TERRENO

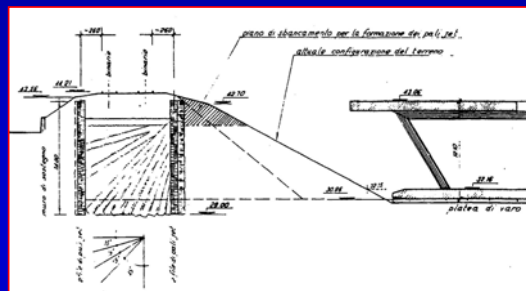
- Avviene mediante *pali jet-grouting* iniettati nella porzione di rilevato che sarà occupata dal monolite in opera

### Pali jet-grouting

- Il piano di iniezione si ottiene attraverso lo sbancamento della scarpata lato cantiere, fino ad una quota inferiore di 2-3 m dalla sovrastruttura

- Per tutta la larghezza dello sbancamento vengono iniettate diverse file di pali del diametro di c.ca 30 cm

- La singola fila è costituita da pali disposti a raggiera con inclinazione dell'asse variabile di 5° in 5° dall'orizzontale alla verticale e lunghezza tale da raggiungere una quota inferiore a quella del piano di cantiere



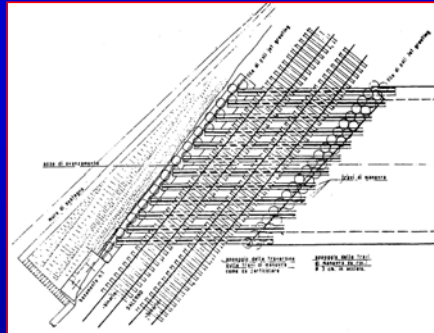
L'intervento di preconsolidamento del terrapieno evita il detensionamento del terreno durante la fase di infissione, a causa dello scavo del fronte, responsabile di possibili cedimenti del piano della sovrastruttura

#### 4 POSIZIONAMENTO DEL SOSTEGNO PER BINARI

- Prima di iniziare la fase di infissione del manufatto, nel caso di sede ferroviaria, si mette in opera una struttura isostatica finalizzata al sostegno dei binari durante la penetrazione del monolite nel terrapieno
- Questo intervento permette la conservazione dell'assetto plano-altimetrico dei binari ed evita quindi l'interruzione dell'esercizio

##### Sostegno Binari

- ▶ Pali in jet-grouting costituenti un cordolo, parallelo alle rotaie, di appoggio per le travi di manovra
- ▶ Travi di manovra costituenti una fascia di sostegno dei binari nella direzione longitudinale di infissione
- ▶ Travi di fascio binari finalizzate all'incremento della rigidità delle rotaie nella direzione dell'esercizio ed alla conservazione della loro direzione iniziale (onde evitare deragliamenti)



#### 4 Fasciatura dei Binari con tecnologia Essen

##### Messa in opera del Ponte Essen

- ▶ Isolamento elettrico della rotaia mediante interposizione di una tavoletta in bachelite tra rotaia e piastra
- ▶ Inserimento tra coppie di traversine della sella con funzioni rispettivamente di sostegno della rotaia e collegamento alle travi di fascio
- ▶ Il collegamento rotaia-sella avviene mediante usuali dispositivi di fissaggio
- ▶ Collegamento della fila di selle ad una coppia di travi metalliche a doppio T, alte 20 cm e lunghe 12 m, le quali unitamente alle selle stesse sostengono le rotaie
- ▶ Il collegamento sella-travi metalliche avviene grazie a spinotti calibrati inseriti nei corrispondenti fori previsti nelle alette di ciascuna sella e nell'anima delle travi longitudinali, mantenuti in posizione da ganasce fissate con bulloni di serraggio
- ▶ Si ottiene, per ciascun binario, una struttura formata da quattro travi metalliche portanti, delle quali la coppia interna è collegata mediante appositi piastroni bullonati



## 4

## Travi di Manovra

Vengono realizzate mediante l'accoppiamento di due travi metalliche a doppio T IPE 600

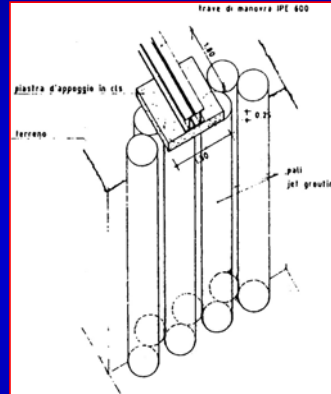
La base superiore delle travi di manovra sostiene le traverse e le selle

#### Estremità terrapieno lato cantiere

La trave appoggia, previa interposizione di una piastra, sopra un cordolo trasversale costituito da una doppia fila di pali in jet-grouting rinforzati con micropali

#### Estremità terrapieno lato opposto al cantiere

La trave appoggia, previa interposizione di rulli di scorrimento, direttamente sull'estradosso della soletta superiore



Nella fase di infissione il sistema Ponte Essen-travi di manovra permette il progressivo trasferimento del carico mobile agente sui binari dal rilevato allo scatolare

Quando lo scatolare è penetrato completamente nel terrapieno si smontano le opere di sostegno dei binari e si ripristina la massicciata

## 5

## MURO REGGISPINTA – SPINTA SCATOLARE

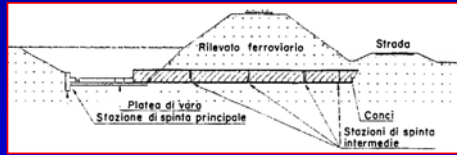
- Si realizza nel lato platea opposto a quello a tergo del rilevato ferroviario o stradale
- È un muro in calcestruzzo armato a sostegno di un terrapieno resistente alle sollecitazioni dei martinetti grazie alla sola spinta passiva
- Presenta le seguenti dimensioni: altezza di 5 m e spessore di 1.50 m
- È ancorato alla platea di varo ed affonda nel terreno di fondazione per almeno 2 m
- Per ripartire uniformemente la spinta esercitata sull'opera di contrasto dai martinetti, tra questi ed il muro, viene inserito un profilato metallico
- I martinetti oleodinamici vengono posizionati tra il monolite e l'opera di contrasto
- Sono distribuiti uniformemente lungo la soletta inferiore
- Le travi metalliche rigide vengono aggiunte progressivamente al termine della corsa dei pistoni oleodinamici (c.ca 80 cm) per spessorare lo spazio esistente tra muro e martinetti
- Ogni 4÷5 m tali travi vengono tolte e si getta sopra la platea di varo una soletta non armata con trave in spessore nella ripresa



6

## INFISSIONE DELLO SCATOLARE

- Durante l'infissione del monolite nel terrapieno, **all'interfaccia scatola-terreno** insorgono delle resistenze, a causa dell'attrito, responsabili dell'**effetto trascinamento**



### Effetto trascinamento

Il manufatto avanza nel terrapieno e determina lo spostamento, nella direzione di avanzamento, degli strati di terreno prossimi ai setti

Viene compromessa la stabilità del rilevato con conseguente interruzione dell'esercizio

### Interventi per eliminare l'effetto trascinamento

Nei setti laterali tale fenomeno viene eliminato grazie ai pali in jet-grouting iniettati nella fase di preconsolidamento del rilevato

All'estradosso della soletta superiore, quando la quota del cielo del monolite è molto inferiore alla quota della sede, il fenomeno viene contrastato con la **tecnica del nastro di lamiera sottile**

6

## INFISSIONE DELLO SCATOLARE

- Durante l'infissione del monolite nel terrapieno, **all'interfaccia scatola-terreno** insorgono delle resistenze, a causa dell'attrito, responsabili dell'**effetto trascinamento**



### Effetto trascinamento

Il manufatto avanza nel terrapieno e determina lo spostamento, nella direzione di avanzamento, degli strati di terreno prossimi ai setti

Viene compromessa la stabilità del rilevato con conseguente interruzione dell'esercizio

### Tecnica del nastro di lamiera sottile

Il nastro viene ancorato al terrapieno al di sopra del monolite, steso all'interfaccia cielo del tunnel-terreno e risvoltato all'interno del tunnel stesso mediante apposite feritoie realizzate in prossimità del taglione superiore

È nulla la traslazione nastro-terreno

Lo spostamento relativo avviene tra il nastro ed il manufatto

## 6 INFISSIONE DELLO SCATOLARE - Tecnica "Tutta Stagna"

- È una tecnica da utilizzarsi nella costruzione di sottopassi in presenza di falda acquifera
- È finalizzata al contenimento dell'acqua di falda durante le fasi:
  - ✓ Scavo a cielo aperto
  - ✓ Prefabbricazione e varo del monolite
  - ✓ A struttura ultimata

### *Diaframmi perimetrali*

- Sono confezionati in c.a. ed hanno funzione di contenimento per le future rampe di accesso al sottopasso
- È buona norma immergerli in una matrice ghiaiosa
- Durante lo scavo vengono ancorati con tiranti attivi

### *Funzioni*

- Sostegno laterale degli scavi di sbancamento
- Protezione dalla falda in fase provvisoria ed a opera eseguita
- Muri d'ala delle rampe di accesso

## 6 INFISSIONE DELLO SCATOLARE - Tecnica "Tutta Stagna"

**Problema:** i diaframmi perimetrali non ammettono soluzione di continuità in corrispondenza della sede ferroviaria e lo scavo del fronte in presenza di acqua, durante la fase di infissione, comporta quindi un detensionamento del terreno

**Soluzione:** viene realizzata una "sutura" tra le paratie di diaframmi attenstantisi da ambo i lati del terrapieno

### *"Sutura"*

- Consiste in una paratia in colonne di terreno consolidato mediante jet-grouting
- I pali con diametro 60 cm sono disposti ad interasse di 90 cm in doppia fila a quinconce
- La coppia di paratie è disposta lungo l'asse di avanzamento del manufatto e collega tra loro i diaframmi perimetrali

### *Funzioni*

Garantisce il contenimento laterale sia del terreno sia della falda quando lo scatolare è penetrato parzialmente o completamente nel terrapieno

## 6 INFISSIONE DELLO SCATOLARE - Tecnica "Tutta Stagna"

**Problema:** quando si aprono ampie superfici di scavo i diaframmi perimetrali e le relative suture non sono sufficienti a bloccare venute d'acqua dal piede di dette opere a causa dei fenomeni di infiltrazione

**Soluzione:** per evitare che questo avvenga si adotta la tecnica dei "tappi di fondo"

### "Tappi di fondo"

- Si esegue un preconsolidamento con jet-grouting del terreno di fondazione delle future rampe compreso tra le paratie
- Profondità e spessore dei pali in jet-grouting dipendono dalla quota di progetto delle rampe variabile lungo la lunghezza, dalla quota del pozzo di varo e dalla spinta idrostatica che deve essere contrastata
- Questi elementi congiuntamente ai diaframmi laterali costituiscono una struttura a profondità via via decrescente in campate successive con sezione trasversale ad U, nella quale i diaframmi sono i piedritti verticali ed il tappo è il traverso di base
- La discontinuità del "tappo" a ridosso del rilevato ferroviario viene eliminata con una "sutura" sempre in pali di jet-grouting
- Il risultato finale è una struttura a guscio completamente stagna nella quale poter impostare la successiva costruzione del sottopasso a spinta

## 6 INFISSIONE DELLO SCATOLARE

### Scavo del fronte

Quando il manufatto penetra progressivamente nel terrapieno, all'interno del tunnel, un escavatore asporta il terreno del fronte di scavo e lo carica su un autocarro che lo porta alla discarica



### Opere di completamento

- Terminata l'infissione dello scatolare si procede alla demolizione con martello pneumatico della punta tagliente scoprendo i ferri dell'armatura
- Nella parte anteriore si costruiscono i muri paraterra
- Nelle testate si realizzano i muretti parapetti
- Infine in presenza di via ferrata viene ripristinata la massicciata ferroviaria

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Si dimensiona la generica *sezione trasversale rettangolare cava* del monolite come un *telaio chiuso* soggetto agli *sforzi di traslazione* durante l'infissione ed ai carichi di esercizio

### STUDIO DELLE SOLLECITAZIONI DI TRASLAZIONE

Ipotesi semplificative inerenti al comportamneto strutturale del monolite:

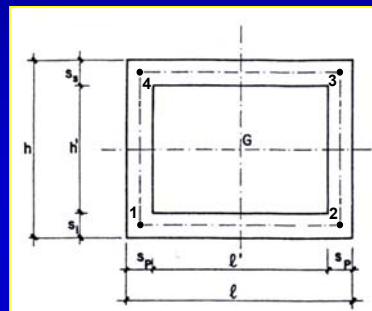
1. il manufatto presenta un *regime tenso-deformativo elastico*
2. si trascurano gli *effetti torsionali*
3. si trascura la *deformazione a taglio*
4. le *sezioni trasversali* si conservano *piane*
5. le *sezioni trasversali* ai fini del calcolo delle sollecitazioni si considerano *sottili*

Si procede alla stima del *momento flettente* e degli *sforzi* rispettivamente *normale* e di *taglio* agenti sul monolite

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

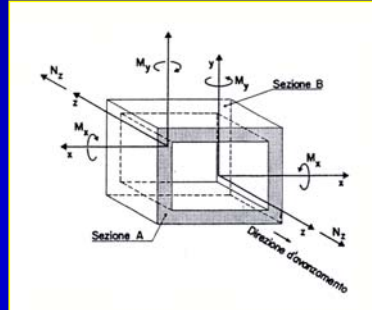
Si supponga di annegare nel getto *8 estensimetri* in corrispondenza dei vertici *1, 2, 3 e 4* della *linea media dei setti perimetrali* rispettivamente della sezione chiusa anteriore A e di quella posteriore B

Durante la fase di infissione gli estensimetri misurano le *deformazioni specifiche in direzione longitudinale*  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$  del manufatto nelle sezioni sopra indicate



## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Si supponga di annegare nel getto 4 estensimetri in corrispondenza dei vertici della linea media dei setti perimetrali rispettivamente della sezione chiusa anteriore A e di quella posteriore B (fig.1)



Lo stato di sollecitazione globale agente sulle sezioni A e B si calcola in funzione dei corrispondenti valori di  $\varepsilon$  con le formule (1), (2) e (3)

$$M_x = E \left\{ \begin{aligned} & \left[ -(\varepsilon_3 + \varepsilon_4) \frac{s_p}{2} \frac{(h-s_s)}{2} + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \frac{s_i}{2} \frac{(h-s_i)}{2} \right] (1-s_p) + \\ & + \frac{s_p}{6} \left( h - \frac{s_s + s_i}{2} \right)^2 \left[ \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}{2} + \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_4}{2} \right] \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$M_y = E \left\{ \begin{aligned} & \frac{s_p}{2} \left( h - \frac{s_s + s_i}{2} \right) (\varepsilon_2 + \varepsilon_4 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3) \left( \frac{1-s_p}{2} \right) + \\ & + \frac{(1-s_p)^2}{6} \left[ s_i \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{2} + s_s \frac{(\varepsilon_3 - \varepsilon_4)}{2} \right] \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$N_z = E \sum_{i=1}^4 \varepsilon_{zi} \left[ 2s_p h + (1-2s_p)(s_s + s_i) \right] \quad (3)$$

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

La variazione della deformazione specifica longitudinale tra le sezioni A e B genera una variazione del modulo delle sollecitazioni  $M_x$ ,  $M_y$  e  $N_z$  tale per cui:

$$\begin{aligned} M_{x,A} &= M_{x,B} + \Delta M_x \\ M_{y,A} &= M_{y,B} + \Delta M_y \end{aligned} \quad (4)$$

$\Delta M_x$  determina una rotazione dell'asse longitudinale del monolite nel piano verticale

$\Delta M_y$  determina una rotazione dell'asse longitudinale del monolite nel piano orizzontale

I casi che possono presentarsi nella fase di spinta dello scatolare sono due:

### 1° CASO

(5)  $M_{x,A} \neq M_{x,B} \rightarrow \Delta M_x \neq 0 \Rightarrow T_x = \frac{dM_x}{dx} \neq 0$   
 $M_{y,A} \neq M_{y,B} \rightarrow \Delta M_y \neq 0 \Rightarrow T_y = \frac{dM_y}{dy} \neq 0$

Lo sforzo di taglio tende a deviare il monolite dalla corretta via di infissione

Il terreno sviluppa delle sovrappressioni, all'estradosso dei setti, che in genere equilibrano l'azione tagliante conservando quindi l'avanzamento del manufatto rettilineo

### 2° CASO

(6)  $M_{x,A} = M_{x,B} \rightarrow \Delta M_x = 0 \Rightarrow T_x = \frac{dM_x}{dx} = 0$   
 $M_{y,A} = M_{y,B} \rightarrow \Delta M_y = 0 \Rightarrow T_y = \frac{dM_y}{dy} = 0$

Lo sforzo di taglio è nullo ed il monolite rimane in asse durante la traslazione

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Nella fase di infissione si studia l'interazione terreno-struttura ipotizzando che l'asse longitudinale del manufatto si mantenga rettilineo

Lo schema teorico di riferimento ai fini del dimensionamento è quindi identico a quello del monolite in condizioni statiche di esercizio

Il manufatto viene progettato a sezione rettangolare cava calcolata staticamente come un telaio chiuso soggetto ai carichi in esercizio

Le azioni agenti sui setti del monolite in opera sono:

- il **carico mobile** ferroviario o stradale agente sull'estradosso della soletta superiore
- i **pesi propri** del terreno e della infrastruttura agenti sull'estradosso della soletta superiore
- la **spinta del terreno sui setti laterali**
- le **azioni sulla soletta inferiore**

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Ai fini del dimensionamento della struttura le azioni vengono ripartire tra i diversi elementi costituenti il monolite nel modo seguente:

Soletta superiore	Setti laterali	Soletta inferiore
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Carichi mobili</li> <li>➤ Sovraccarichi</li> <li>➤ Peso proprio del terreno sovrastante</li> <li>➤ Peso proprio della soletta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reazione trasmessa dalla soletta superiore</li> <li>➤ Spinta laterale del terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reazione del terreno</li> <li>➤ Sovraccarichi</li> <li>➤ Peso proprio</li> </ul>

Lo *schema di carico* ed il modulo dei *carichi mobili* e dei *sovraccarichi* viene determinato in base al tipo di sede

**Caso ferroviario** →

**Caso stradale** →

Istruzione del 02/06/95: "Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari – Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo" & Circolare n. 54 del 15/07/45 della Direzione Generale delle FF.SS.

D.M.LL.PP. 04/05/90: "Aggiornamento norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo dei ponti stradali"

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Caso ferroviario

La circolare n.54 delle FF.SS. definisce tre "treni di carico":

- Treno di carico LM 71
- Treno di carico SW (traffico ferroviario pesante)
- Treno scarico

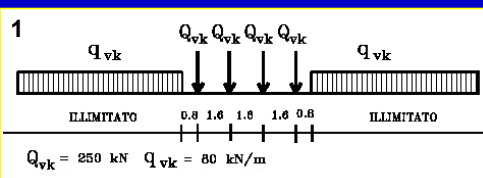
## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Caso ferroviario

La circolare n.54 delle FF.SS. definisce tre "treni di carico":

- Treno di carico LM 71
- Treno di carico SW (traffico ferroviario pesante)
- Treno scarico

Schematizza il carico mobile esercitato sulla struttura dal traffico ferroviario con lo schema di carico in figura 1



Treno di carico LM 71:

- 4 assi con carico concentrato  $Q_{vk}$  da 250 kN ad interasse di 1.60 m
- Carico distribuito  $q_{vk}$  da 80 kN/m in entrambe le direzioni a 0.80 m dagli assi di estremità

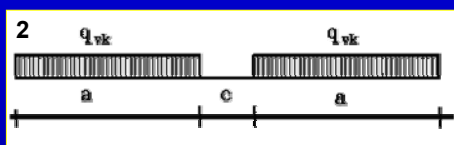
## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Caso ferroviario

La circolare n.54 delle FF.SS. definisce tre “treni di carico”:

- Treno di carico LM 71
- Treno di carico SW (traffico ferroviario pesante)
- Treno scarico

Schematizza il carico mobile esercitato sulla struttura dal traffico ferroviario pesante con lo schema di carico in figura 2



Tipo di Carico	$q_{vk}$ [kN/m]	$a$ [m]	$c$ [m]
SW/0	133	15.0	5.3
SW/2	150	25.0	7.0

Treno di carico SW: i valori del *carico lineare*  $q_{vk}$  e delle *distanze*  $a$  e  $c$  dipendono dalla configurazione *SW/0* o *SW/2* adottata per il dimensionamento della struttura

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Caso ferroviario

La circolare n.54 delle FF.SS. definisce tre “treni di carico”:

- Treno di carico LM 71
- Treno di carico SW (traffico ferroviario pesante)
- Treno scarico

Per alcune verifiche è utilizzato un particolare treno di carico denominato “*treno scarico*” rappresentato da un *carico lineare* da *12.5 KN/m*

Ai fini del dimensionamento della struttura valgono le regole seguenti:

- Le colonne di carico mobile sono pari al numero di binari costituenti la linea
- Si adotta quel *carico mobile*  $q$ , incrementato del *sovraccarico della sede ferroviaria* e dei *pesi propri del terreno e della soletta*, nella configurazione statica che sollecita maggiormente la struttura a flessione ed a taglio
- L’*entità del carico mobile* deve poi essere *incrementata di un coefficiente*  $\phi$  per tenere conto degli effetti dinamici

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

### Caso ferroviario

La circolare n.54 delle FF.SS. definisce tre "treni di carico":

- Treno di carico LM 71
- Treno di carico SW (traffico ferroviario pesante)
- Treno scarico

Per alcune verifiche è utilizzato un particolare treno di carico denominato "treno scarico" rappresentato da un carico lineare da 12.5 KN/m

#### Coeff. Dinamico $\phi$

$$\phi = \frac{0.40}{1 + (0.2 \cdot L)} + \frac{0.60}{1 + \left(\frac{4P}{S}\right)} \quad (7)$$

L = luce di calcolo  
P = peso proprio della struttura  
S = carico mobile transitante

#### Carico mobile q relativo alla striscia unitaria

$$q_{fin} = q \cdot (1 + \phi) \quad (8)$$

q = carico mobile iniziale complessivo

$q_{fin}$  = carico mobile inc. di  $\phi$

$\phi$  = coeff. di incremento dinamico dei carichi

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

### Caso stradale

#### 1 Carico mobile $q_1$ + Incremento dinamico $q_2$

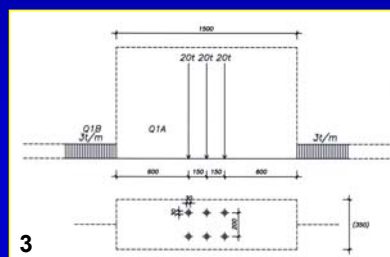
**$q_{1a}$**  Mezzo convenzionale a tre assi da 60 t che carica la singola corsia d'ingombro larga 3.50 m (fig. 3)

**$q_{1b}$**  Carico ripartito pari a 3 t/m disposto lungo l'asse principale della corsia d'ingombro (fig. 3)

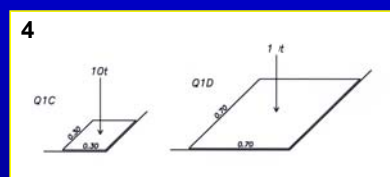
**$q_{1c}$**  Carico isolato da 10 t con impronta quadrata di lato 0.3 m (fig. 4)

**$q_{1d}$**  Carico isolato da 1 t con impronta quadrata di lato 0.7 m (fig. 4)

**$q_{1e}$**  Carico di folla uniformemente ripartito in superficie pari a 0.4 t/mq (fig. 5)

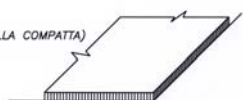


3



4

$q_{1e} = 400 \text{ kg/mq}$  (FOLLA COMPATTA)



5

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Caso stradale

Sulla base dei carichi mobili ammessi al transito i ponti stradali si suddividono nelle seguenti tre categorie:

1<sup>a</sup> Categoria → Ponti per il transito dei carichi mobili con il loro intero valore

2<sup>a</sup> Categoria → Ponti per il transito dei carichi mobili con valore ridotto

3<sup>a</sup> Categoria → Passerelle pedonali per il transito dei soli carichi mobili  $q_{1a}$  e  $q_{1b}$

La **larghezza di ingombro convenzionale** di ciascuna colonna è pari a 3,50 m

Il **numero minimo delle colonne** da prendere in considerazione nello schema di carico **dipende dalla larghezza delle sede stradale**:

$l_{\text{strada}} \leq 3,50 \text{ m} \rightarrow N_{\text{min,colonne}} = 1$

$l_{\text{strada}} > 3,50 \text{ m} \rightarrow N_{\text{min,colonne}} = 2$

La **disposizione dei carichi** ed il **numero delle colonne** sulla carreggiata sono quelli che determinano le **condizioni di sollecitazione più sfavorevoli** per la struttura

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Caso stradale

Per i ponti di 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> categoria si considerano le seguenti colonne di carico :

1<sup>a</sup> Categoria →

- Una 1<sup>a</sup> colonna costituita dal carico  $q_{1a}$  e da più tratti di carico  $q_{1b}$  agenti lungo l'asse della corsia nel modo più sfavorevole
- Una 2<sup>a</sup> colonna costituita dal 50% del carico  $q_{1a}$  e da più tratti di carico pari al 50% di  $q_{1b}$
- Altre colonne costituite dal 35% del carico  $q_{1a}$  e da più tratti di carico pari al 35% di  $q_{1b}$
- Il carico  $q_{1c}$  sui marciapiedi con altezza superiore a 20 cm

2<sup>a</sup> Categoria →

- Una 1<sup>a</sup> colonna costituita dal 75% del carico  $q_{1a}$  e da più tratti di carico pari al 50% di  $q_{1b}$
- Una 2<sup>a</sup> colonna costituita dal 50% del carico  $q_{1a}$  e da più tratti di carico pari al 50% di  $q_{1b}$
- Altre colonne costituite dal 35% del carico  $q_{1a}$  e da più tratti di carico pari al 35% di  $q_{1b}$
- Il carico  $q_{1c}$  sui marciapiedi con altezza superiore a 20 cm

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Caso stradale

Si determina il carico  $q$ , come la disposizione dei carichi mobili  $q_{1a}$ ,  $q_{1b}$ ,  $q_{1c}$  che risulta più gravosa ai fini delle verifiche

il carico  $q_1$  viene incrementato, per tener conto degli effetti dinamici, mediante un coefficiente  $\phi$

Coeff. Dinamico  $\phi$

$$\phi = 1.4 - \frac{L-10}{150} \quad (9)$$

L = luce di calcolo

Incremento dinamico  $q_2$

$$q_2 = (\phi - 1) \cdot q_1 \quad (10)$$

$q_1$  = carico mobile  
 $q_2$  = incremento dinamico del carico mobile  
 $\phi$  = coeff. di incremento dinamico dei carichi

2 Sovraccarico della pavimentazione stradale  $g_{2s}$

$$g_{2s} = 10k$$

3 Peso del terreno sovrastante il monolite  $g_{2t}$

$$g_{2t} = 20 \cdot (1.1)$$

4 Peso proprio del generico setto  $g_1$

$$g_1 = V_{\text{setto}} \cdot \gamma_{ca}$$

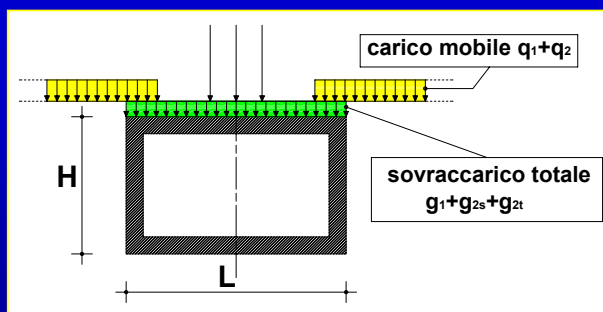
## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Caso stradale

Si applicano il carico mobile  $q_1 + q_2$  ed il sovraccarico complessivo  $g_1 + g_{2s} + g_{2t}$  all'estradosso della soletta superiore

Tale soletta deve essere dimensionata prendendo in esame le sollecitazioni massime rispettivamente di taglio  $T_{\text{max}}$  e flettente  $M_{\text{max}}$

Si considerano quindi quelle combinazioni di carico finalizzate alla determinazione dei valori massimi della azioni T e M



Centrando il carico mobile  $q_1 + q_2$  in corrispondenza dell'asse verticale di simmetria dello scatolare si ottiene lo schema statico che determina la massima azione flessionale  $M_{\text{max}}$

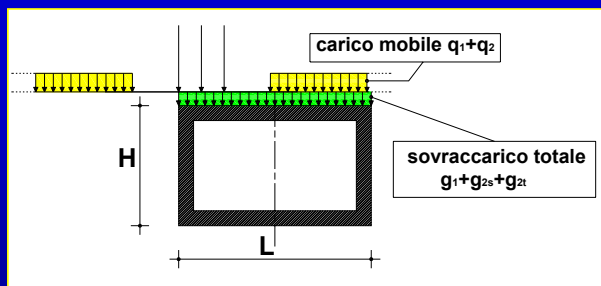
## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

Caso stradale

Si applicano il carico mobile  $q_1 + q_2$  ed il sovraccarico complessivo  $g_1 + g_{2s} + g_{2t}$  all'estradosso della soletta superiore

Tale soletta deve essere dimensionata prendendo in esame le *solicitazioni massime* rispettivamente di taglio  $T_{max}$  e flettente  $M_{max}$

Si prenderanno quindi in esame due combinazioni di carico finalizzate alla determinazione dei valori massimi delle azioni T e M



Posizionando il carico mobile  $q_1 + q_2$  nella configurazione indicata in figura si ottiene lo schema statico che determina la massima azione di taglio  $T_{max}$

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

### 5 Determinazione della spinta a riposo $g_3$ sui setti laterali del monolite

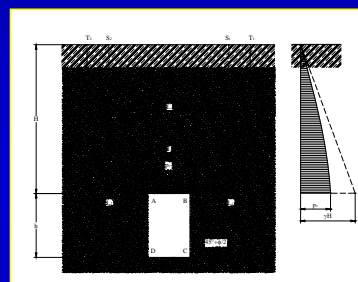
La massa di terreno spingente all'estradosso della soletta superiore di un tunnel, si estende secondo Terzaghi fino al piano di campagna con le *superfici curve simmetriche*  $L_1T_1$  e  $L_2T_2$

Nel caso di *tunnel poco profondi* le *superfici*  $L_1T_1$  e  $L_2T_2$  vengono sostituite coi *piani*  $L_1S_1$  e  $L_2S_2$

La *larghezza L* della massa di terreno spingente e la *pressione verticale  $p_v$*  agente sopra la soletta superiore si determinano quindi con le (11) e (12)

$$L = 1 + 2h \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (11)$$

$$p_v = \frac{L \left( \gamma - \frac{2c}{L} \right)}{2\lambda \tan \varphi} \left( 1 - e^{-\frac{2\lambda H}{L \tan \varphi}} \right) < \gamma H \quad (12)$$



- $p_v$  = pressione verticale
- $h$  = altezza setti laterali
- $H$  = profondità dell'estradosso della soletta sup.
- $L$  = larghezza della massa di terreno spingente
- $\lambda$  = rapporto  $p_h/p_v$
- $\varphi$  = angolo di attrito interno del terreno
- $c$  = coesione

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

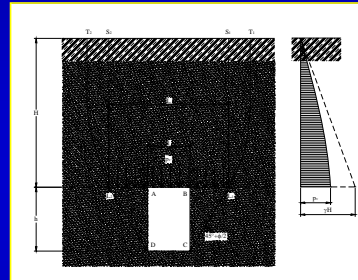
### 5 Determinazione della spinta a riposo $g_3$ sui setti laterali del monolite

Sulle superfici dei setti laterali agisce un carico  $g_3$  rappresentato da una *distribuzione di pressioni orizzontali  $p_h$*  avente forma trapezia

La generica pressione orizzontale  $p_h$  si calcola in funzione della pressione verticale  $p_v$  ipotizzando la spinta a riposo del terreno

La *pressione orizzontale  $p_h$*  varia linearmente dal valore *minimo  $p_{h,min}$*  all'estremità superiore della parete fino al valore *massimo  $p_{h,max}$*  all'estremità inferiore del setto

$$\begin{aligned} p_{h,min} &= (p_{v,soletta\ sup}) \cdot K_0 \\ p_{h,max} &= (p_{v,soletta\ sup} + \gamma_t \cdot h) \cdot K_0 \end{aligned} \quad (13)$$



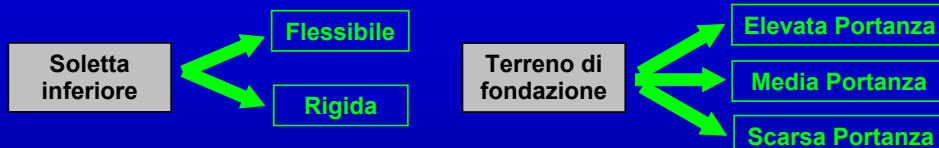
$p_{h,min}$  = pressione orizz. minima  
 $p_{h,max}$  = pressione orizz. massima  
 $p_{v,soletta\ sup}$  = pressione verticale agente sulla soletta superiore  
 $h$  = altezza setti laterali  
 $K_0$  = profondità estradosso della soletta  
 $\gamma_t$  = peso specifico terreno

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

### 6 Determinazione della reazione $g_4$ del terreno sottostante alla soletta inferiore del monolite

Il diagramma delle tensioni che il terreno sviluppa nei confronti della soletta viene definito dall'interazione terreno-struttura, la quale dipende dal *grado di rigidità della soletta* e dalla *portanza del terreno di fondazione*

Lo studio di tale interazione viene eseguito prendendo in esame *due classi di solette* e *tre tipi di terreno*



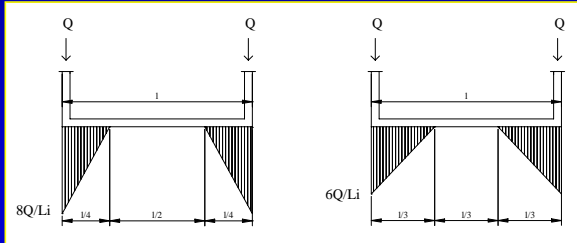
La *tensione normale massima  $\sigma_{max}$*  che la soletta trasmette al terreno, a parità dello sforzo  $Q$  trasmesso dai setti laterali a quest'ultima, viene quindi calcolata per ciascuna coppia definita dalla rigidità della platea e dalla portanza del terreno di fondazione

## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

### Terreno con Portanza elevata

**Soletta Rigida**  $\sigma_{\max} = \frac{8Q}{l}$  (14)

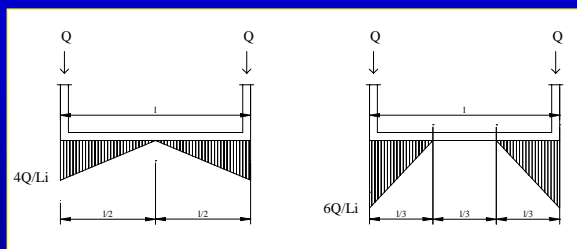
**Soletta Flessibile**  $\sigma_{\max} = \frac{6Q}{l}$  (15)



### Terreno con Portanza media

**Soletta Rigida**  $\sigma_{\max} = \frac{4Q}{l}$  (16)

**Soletta Flessibile**  $\sigma_{\max} = \frac{6Q}{l}$  (17)

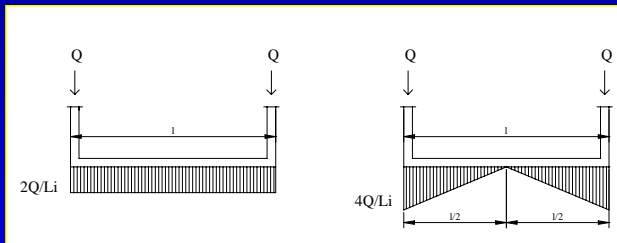


## DIMENSIONAMENTO DELLO SCATOLARE

### Terreno con Portanza scarsa

**Soletta Rigida**  $\sigma_{\max} = \frac{2Q}{l}$  (18)

**Soletta Flessibile**  $\sigma_{\max} = \frac{4Q}{l}$  (19)



Indipendentemente dal caso considerato, prima di procedere al dimensionamento della struttura, si deve verificare che il **terreno di fondazione sia in grado di sostenere l'opera senza plasticizzarsi**

Verifica allo  
schiacciamento

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{amm} = \frac{K_t}{c} \quad (20)$$

- $\sigma_{\max}$  = pressione verticale massima all'interfaccia terreno-soletta
- $\sigma_{amm}$  = tensione ammissibile del terreno
- $K_t$  = tensione di rottura del terreno
- $c$  = coefficiente di sicurezza  $\approx 2.5-3.5$

## CALCOLO DELLA SPINTA TEORICA MASSIMA AI MARTINETTI

Si calcola applicando la legge di Mohr-Coulomb (21) al terreno del rilevato in contatto, durante l'infissione, con la superficie esterna dello scatolare

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (21)$$

La resistenza totale massima  $N_{z \max}$  offerta dal terreno che i pistoni oleodinamici devono vincere per inserire il monolite all'interno del terrieno è data dalla (22)

$$N_{z \max} = L \cdot \int_A \tau \cdot dA = L \cdot \int_A (\sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot dA \quad (22)$$

$\tau$  = tensione tangenziale massima del terreno

$\sigma$  = tensione normale del terreno

$\varphi$  = angolo di attrito interno del terreno

$L$  = lunghezza del tunnel

$A$  = area laterale di un tratto unitario di tunnel

La spinta totale effettiva  $N_z$  esercitata dai martinetti è inferiore a quella massima  $N_{z \max}$  poiché all'interfaccia terreno-monolite esiste un angolo di attrito  $\delta^{(*)}$  inferiore a  $\varphi$

$$\delta \approx 0.80 \cdot \varphi \quad \longrightarrow \quad N_z \approx 0.75 \cdot N_{z \max}$$

(\*)  $\delta$  dipende dalla rugosità del calcestruzzo e dalle caratteristiche del terreno