

sono dei leggieri cambiamenti di direzione e dei cambiamenti di livellette: la pendenza massima (agli estremi della galleria) è circa del 3 ‰.

Il cassone adoperato pel traforo della galleria (v. fig. 39) è circolare, di diametro esterno m. 9,20, poco diversificando dai cassoni pneumatici ordinarii: esso è diviso però in quattro piani, ciascuno suddiviso in tre scompartimenti; per modo che il lavoro viene attaccato contemporaneamente in dodici punti dell'avanzata. Questo cassone, del peso di tonn. 230, è stato armato in cantiere presso il pozzo n.º 4, in una specie di bacino all'uopo scavato, comunicante col detto pozzo. Chiuso il cassone ai suoi estremi, e riempito d'acqua il bacino ed il pozzo, si è trasportato il cassone galleggiante nella verticale di questo, e si è fatto quivi discendere al fondo, abbassando man mano il livello dell'acqua.

La galleria praticata col detto cassone vien rivestita con anelli circolari di ghisa di diametro esterno m. 9,00 e di lunghezza ognuno centimetri 75, formati da n.º 14 segmenti a flange, i quali vengono imbullonati tra loro, e da una robusta chiave che ha la faccia intradossale un po' più larga di quella d'estradosso, e ciò per agevolarne la sua montatura. Gli anelli hanno lo spessore di centim. 5 per un tratto della galleria e centim. 3 per un altro tratto: le flange o nervature corrispondenti sono di centim. 30 e centim. 25. Un anello completo del 1º tipo pesa tonn. 16,50: uno del 2º tipo, tonn. 11,75.

Per colmare il vuoto tra il terreno e la parete del rivestimento, si inietta del cemento da varii buchi praticati nella detta parete, e chiusi poscia con tappi a vite. Nella faccia interna degli anelli verrà eseguito uno strato speciale di cemento a superficie smaltata.

L'ammontare totale dell'opera è previsto per 6 milioni di lire.

CAPO VI.

Costo delle fondazioni pneumatiche.

a) Considerazioni.

Il costo unitario per una fondazione completa sott'acqua, eseguita cioè alla presenza dell'aria compressa, è molto differente da un'opera all'altra; dacchè esso è subordinato precipuamente alle speciali condizioni locali, vale a dire alle difficoltà inerenti al sito d'impianto (altezza e velocità dell'acqua, gorghi ed escavazioni dovuti alle correnti, distanza dell'opera a farsi rispetto alla terraferma, ecc.), alla natura dei terreni da attraversare, nonchè alla profondità di affondamento da raggiungere: varia pure col variar del tempo, e da luogo a luogo, tanto pel costo delle materie prime, che per la quota di retribuzione al personale addetto ai lavori.

Per uno stesso lavoro il costo unitario varia poi a seconda il tipo del

cassone prescelto, e può anche sensibilmente variare con l'attitudine della Ditta costruttrice, a cui viene affidata l'esecuzione dell'opera; la quale, conseguentemente ai mezzi di cui dispone per attrezzi e macchinarii occorrenti al lavoro, può accettarne l'esecuzione a prezzi più o meno discreti. Ad ogni modo il costo di una fondazione completa è formato da quello:

- del cassone e suoi accessori,
- dello scavo ed estrazione dei materiali,
- della muratura eseguita all'aria libera, e di quella eseguita alla presenza dell'aria compressa.

1) **Cassone**.—Il prezzo medio del ferro in ordinarie circostanze può ritenersi di lire 0,60 a chilogramma: esso però è variabile specialmente col tipo del cassone.

Citiamo come esempio:

il ponte a Mezzanacorti, pel quale il cassone costò lire 0,80 al kg.					
» » Piacenza	»	»	»	»	0,80 »
» » Pontelagoscuro	»	»	»	»	0,55 »
» » Kehl	»	»	»	»	0,82 »
» » Marmande (*)	»	»	»	»	0,47 »

2) **Sterri**.—Per gli *scavi* e per la relativa *estrazione delle terre*, il prezzo varia principalmente con la natura geologica di queste, con il loro stato di consistenza e con la relativa loro profondità: fattori questi, che si possono quasi sempre ben conoscere in precedenza, dietro cioè opportuni e ripetuti saggi del sottosuolo locale.

Nel fissare intanto il prezzo unitario in esame, conviene anche porre mente al fatto che il volume delle terre da estrarre risulta sempre maggiore della cubatura scavata. A Szegedin, per esempio, mentre l'argilla aumentava pochissimo di volume, la sabbia e la ghiaia triplicavano. Pel ponte sul Reno a Kehl il rapporto dello sterro (ghiaia) al materiale elevato fu di 1,00:1,65 per le pile, di 1,00:1,63 per la pila-spalla francese, e di 1,00:1,72 per la pila-spalla badese.

Pel ponte sul Po a Piacenza l'Ing. Pozzi ha ottenuto con elementi di fatto — mercè speciale analisi riscontrabile al Cap. IV (§ 20) della citata sua opera — il costo di un metro cubico di scavo in *terreno ordinario* (sabbia e ghiaia): esso è risultato di lire 21,00 a m.c.

Pei *terreni forti*, ossia molto resistenti (argille compatte, marne, puddinghe ecc.), in conseguenza di ciò che si è detto in nota al Capo II — 2° (§ f) del presente libro, il costo relativo è da tre a quattro volte quello su riportato: in media, lire 73,50 a m.c.

Registriamo intanto alcuni prezzi fatti nelle sottoindicate opere,

(*) La ghiera o corona metallica formante telaio d'appoggio al cassone di muratura.

comprensivi anche del costo dell'aria compressa fornita, e di tutte le spese inerenti all'istallazione, agli attrezzi, ai ponti di servizio e ad ogni altro accessorio:

- ponte a Mezzanacorti: scavo ed estrazione degli sterri (sabbia con pochi strati d'argilla e torba)
 - fino a m. 15 di profondità lire 14,00 a m. c.
 - idem. da m. 15÷20 » 18,00 » » »
- ponte a Pentelagoscuero: (sabbia ed argilla) » 40,00 » » »
- ponte a Kehl: (sabbia mista a ghiaia) . . » 20,00 » » »
- ponte a Collonges sul Rodano » 23,50 » » »
- ponte a Marmande: affondamento nella ghiaia,
 - a m. 8,60 di profondità » 18÷20 » » »
 - idem nel tufo, fino a m. 12,00 di profondità » 22÷27 » » »

3) M u r a t u r e.—Il costo della muratura costrutta *all'aria libera*, cioè di tutta la parte muraria della fondazione eseguita al di sopra della camera di scavo, è quasi identico al costo per fondazioni ordinarie all'asciutto.

Il costo poi della muratura eseguita *all'aria compressa*, è naturalmente alquanto superiore, e da un'opera all'altra varia principalmente, a parità d'altre circostanze, con la profondità di fondazione. Per questo dato di costo parimenti il Pozzi riporta un'analisi fatta con elementi presi dal ponte a Piacenza.

Aggiungiamo anche per le murature alcuni dati di fatto, riuniti nel seguente specchietto:

LOCALITÀ dell'opera	Muratura eseguita all'aria libera	Prezzo unitario (in lire)	Muratura eseguita all'aria compressa	Prezzo unitario (in lire)
<i>Mezzanacorti</i>	Calcestruzzo con malta idraulica .	18,00	Calcestruzzo con malta idraulica .	32,00
	Mattoni con malta simile	22,80		
<i>Pontelagoscuero</i>	Calcestruzzo con malta idraulica .	25,00	Calcestruzzo con malta idraulica .	45,00
	Mattoni con malta simile	35,00		
<i>Piacenza</i>	Calcestruzzo con malta idraulica .	16,00	Calcestruzzo con malta idraulica .	20,00
	Mattoni con malta simile	24,00	Mattoni forti con cemento idraulico	70,00

Nel Prospetto B della precitata opera del Pozzi, son riportati varii elementi di costo unitario per *fondazioni complete* di ponti italiani ed esteri, da cui risulta:

— che per fondazioni costruite in Italia, il costo unitario (a m.c.) di fondazioni pneumatiche finora eseguite con tipi ordinarii e con cassoni permanenti, sta tra i limiti di lire 90 e lire 146 per profondità raggiunte fino a m. 12 sotto le magre: da m. 12 a m. 26, il prezzo varia da lire 86 a lire 160, con una media di lire 112 su n.º 5 ponti costruiti sul Po in terreni semicompatti;

— che per fondazioni costruite in Francia, tale costo varia da lire 92 a lire 154 per profondità c. s. fino a m. 12 e per sezioni in pianta, del cassone, fino a m.q. 56; e da lire 73 a lire 139 per profondità simili, ma per sezioni in pianta superiori a m.q. 56, fino a m.q. 210: da m. 12 a m. 21, il prezzo varia da lire 85 a lire 235.

Inoltre il Pozzi fa notare, esaminando il suddetto Prospetto, che col sistema dei cassoni fissi e per profondità di scavo fino a m. 20 in terreni di natura varia (esclusa la roccia in istrati continui) il prezzo medio a metro cubico delle fondazioni pneumatiche può prevedersi per circa lire 90; e che qualora si abbia il concorso di circostanze molto favorevoli, riguardo cioè al sito del lavoro, alla natura dei terreni, al costo dei materiali ecc., tale prezzo può scendere fino a lire 70 circa a metro cubico (*). — Dippiù, che le fondazioni tubolari sono, dal lato economico, preferibili a quelle con cassoni; e inoltre che quelle con cassoni amovibili riescono più costose di quelle con cassoni fissi, e quindi adottabili nelle sole circostanze in cui le esigenze tecniche s'impongono a quelle finanziarie.

Le fondazioni poi costrutte con cassoni di muratura con sola osatura o telaio di ferro, se presentano una certa economia (**), questa può essere facilmente assorbita dalle spese impreviste cui si rischia d'andare incontro, per la mancanza dell'inviluppo esterno delle murature.

Finalmente pei cassoni smontabili si può avere un'economia (***), variabile col tipo di cassone; ma questa non è realizzabile se non adoprando varie volte di seguito le stesse fodere mobili.

(*) S'intende bene che tali prezzi si riferiscono ad opere di una certa entità, e non già a piccoli lavori isolati, come per esempio a qualche fondazione da restaurare o ricostrurre: pei quali le spese generali, d'impianto e d'assistenza sono al certo di forte aggravio.

(**) Pel ponte a Marmande quest'economia risultò di lire 7 a m.c., rispetto al costo di alcune fondazioni quivi costrutte con cassoni metallici.

(***) Pel cassone *Klein-Schmoll-Gaertner* l'economia (come a suo luogo si è detto) può essere di circa lire 10 a m.q. d'inviluppo estraibile, sempre quando però il materiale possa venire usato per circa dieci volte di seguito.

b) **Esempi relativi a ponti italiani.**

Registriamo ora, per completare il concetto dell'importanza di siffatti lavori, altri dati di costo relativamente a fondazioni di varii ponti italiani:

1.^o—*Ponte a Mezzanacorti sul Po (1865)*.—Il prezzo medio di un metro cubico di muramento sott'acqua (tutto compreso: scavo, cassone ecc.) è risultato di lire 107,20.

2.^o—*Ponte a Pontelagoscuro sul Po (1870)*. — Il costo della muratura in fondazione (tutto compreso, come sopra), è asceso a lire 110,00 a metro cubico: quello della muratura superiore è stato di lire 60,00.

3.^o—*Ponte a Borgoforte sul Po (1873)*.—Il prezzo medio di un metro cubico di muratura, come sopra, è stato di lire 130,00.

4.^o—*Ponte a Sesto Calende sul Ticino (1881)*.—Le opere relative alle fondazioni di questo ponte furono appaltate ai seguenti prezzi:

— Un metro cubico di scavo fino alla profondità di m. 3,50 sotto il pelo della massima magra, a lire 25,00. Per ogni m. 5 di maggiore profondità il prezzo unitario era aumentato di circa lire 10; sicchè alla profondità massima di oltre m. 18, lo scavo veniva a costare lire 60,00 a metro cubico.—Un metro cubico di calcestruzzo all'aria compressa, a lire 32,00; un metro cubico di muratura di pietrame all'aria libera, a lire 15,00.

— Coi detti elementi, ed attesa la varia profondità delle fondazioni, ne risultò che:

per la 1 ^a spalla (verso Novara), il costo a metro cubico	
di fondazione, tutto compreso, fu di . . .	lire 101,00
di cui la quota relativa allo scavo »	27,20
» 1 ^a pila, costo totale (a metro cubico, c. s.) »	115,00
di cui per lo scavo »	44,00
» 2 ^a pila, costo totale (a metro cubico) »	76,00
di cui per lo scavo »	34,00
» 2 ^a spalla, costo totale (a metro cubico). »	77,00
di cui per lo scavo »	34,00

— Da questi prezzi deducendo il 26 % di ribasso d'asta, e ricavandone la media, si ha che effettivamente il prezzo medio unitario per la completa costruzione delle fondazioni fu di lire 65,10, di cui la parte relativa allo scavo, fu di lire 26,00. Detratto dal costo totale, oltre quello dello scavo, lire 22,00 per il cassone (*), restano lire 17,10,

(*) Il prezzo pel ferro, messo in opera, fu stabilito di lire 0,60 al kg. Il costo di lire 22,00 è la quota relativa a ciascun metro cubico di muratura in fondazione.

che è il prezzo medio a metro cubico pagato per la sola muratura in fondazione.

5.^o—*Muraglioni del Tevere a Roma (1882)*. — Il costo della muratura in fondazione, considerata fino alla quota di m. 0,50 sulla magra normale del fiume, era fissato per lire 70,00 a metro cubico, tutto compreso: ridotto a lire 63,56, atteso il ribasso d'asta del 9,20 % (*).

6.^o—*Ponte a Turbigo sul Ticino (1883)*.—Un metro cubico di scavo all'aria compressa è costato lire 40,00. Il costo poi di un metro cubico di calcestruzzo è stato di lire 35,00 all'aria compressa, e di lire 18,00 all'aria libera.

7.^o—*Ponte a Casalmaggiore sul Po (1885)*. — Un metro cubico di scavo alla presenza dell'aria compressa si è pagato lire 36,00. Un metro cubico di calcestruzzo in fondazione è costato lire 38,00: all'aria libera, invece, lire 22,00.

8.^o—*Ponte Garibaldi a Roma sul Tevere (1885)*. — Il costo a metro cubico delle fondazioni, tutto compreso, è risultato di lire 70,00, in media, per i due spalloni, e di lire 72,00 per la pila (**).

CAPO VII.

Fondazioni molto profonde.

a) Cenno sulle fondazioni con escavi all'aria libera.

Il limite massimo di profondità fino a cui può applicarsi il metodo pneumatico per le fondazioni subacquee, è di m. 35, come si è fatto notare al Capo IV. Se quindi per speciali circostanze locali le fondazioni debbono scendere oltre quel limite sotto il pelo dell'acqua, bisognerà assolutamente ricorrere ad altro sistema di esecuzione, come ad esempio: a quello degli scavi all'aria libera con l'uso delle draghe, delle cucchiaie a mascelle (*clam shells*), delle trombe centrifughe e simili.

Così si è dovuto praticare per vari ponti, seguendo cioè l'antico metodo per le fondazioni dei pozzi indiani (cosiddetti *kotis*), coi perfezionamenti però che il progresso ognora addita.

Nel 1867 infatti il sig. Leslie fondò in Asia un ponte sul Gorai

(*) Gli operai lavoravano nel cassone per lo spazio di otto ore: la loro mercede oraria variava da lire 0,25 a lire 0,50, col variare della profondità a cui si eseguiva il lavoro, ed anche della stagione in cui si lavorava.

(**) Quivi l'aria fu compressa nei cassoni a circa n.º 2 atmosfere effettive.