

2.º — Cassone.

a) Descrizione del cassone.

Il *cassone* (*caisson de fonçage*), come già si è accennato, è quasi sempre tutto di ferro: la sua forma e le sue dimensioni dipendono in generale da quelle della fondazione da eseguirsi.

L'altezza della camera di scavo è per lo più di m. 2,80 ÷ 2,20: come minimo essa può ridursi a m. 1,80 (ponti ad Aussig sull'Elba ed a Salzbουργ sul Salzach); al di sotto del qual limite gli operai lavorerebbero a disagio, ed in alcuni casi non potrebbero affatto lavorare.

Il diaframma che forma *soffitto* (*plafond*) alla camera di lavoro è rinforzato da travi a Γ o ad \square , e da mensoloni di ferro (*consoles*), i quali, fermati alle pareti laterali del cassone, servono sia ad impedire le deformazioni di queste, che a diminuire la portata delle travi del soffitto, e quindi a ridurre le dimensioni delle stesse (*). La distanza fra le travi, ch'è pure quella fra i mensoloni, è di m. 0,70 ÷ 2,00.

Le pareti laterali del cassone, di lamiera di ferro (**), collegate ed inchiodate in modo da rendersi stagne (***), sono rinforzate da cantonali posti orizzontalmente ad un'altezza tra loro di circa m. 0,50, e da montanti verticali (a cui vengono collegati i mensoloni succennati) con scartamento in relazione a quello delle travi, e che può essere di m. 1,00 ÷ 1,50. Questi montanti s'arrestano sopra un cantonale orizzontale formante telaio al lembo inferiore delle pareti, il quale è rinforzato, per lo più, da un ferro piatto alto centim. 30 circa, o da più ferri simili. Tale lembo, denominato *coltello, vomere, tagliente* o *fendente* (*couteau, tranchant*), agendo direttamente sul suolo da escavarsi, facilita la discesa nel terreno (v. fig. 10, 11 e 13).

Lo spessore per le lamiere delle pareti della camera di lavoro varia con le dimensioni del cassone e con la profondità di scavo: ordinariamente è di $\frac{m}{m}$ 8 ÷ 12; quello per le lamiere della camera di caricamento, che non sono cimentate da forti pressioni come le altre (sia perchè non subiscono l'azione dell'aria compressa, sia perchè la

(*) Tali mensoloni sono formati generalmente da tre coppie di cantonali, secondo i tre lati di un triangolo rettangolo, collegati da spranghe di ferro inclinate. Pel ponte a Sesto Calende ed altri, a queste spranghe fu sostituito la parete piena di lamiera: ma per economia, e perchè il masso murario non venga suddiviso, ma formi invece un sol corpo, è preferibile alla lamiera l'armaggio delle sole spranghe.

(**) Alcune volte si adottano cassoni di acciaio: tali, ad esempio, furon quelli per le pile del ponte d'Hawkesbury in Australia, tra Sidney e Newcastle (1886-89). Vedi Pozzi — *Fondazioni pneumatiche*. Cap. III, § 11 (A).

(***) A tale oggetto tra i due bordi delle lamiere da imbullonarsi si mette una striscia di cartone incatramato: così il catrame al passaggio del chiodo riscaldato liquefacendosi, colma gl'interstizi che possono restare tra le due facce delle lamiere.

spinta del terreno è equilibrata dalla muratura che si costruisce internamente) è sempre minore, cioè di $\frac{m}{m} 4 \div 5$.

Si dà lo spessore maggiore anche alle lamiere del soffitto, come pure a quelle delle pareti per una certa altezza al disopra del soffitto, affinchè l'attacco della travatura alle pareti stesse riesca ben solido.

Nel soffitto sono praticati dei fori circolari, da cui partono i tubi dei camini che comunicano superiormente con le camere d'equilibrio.

Si adottano alcune volte cassoni di struttura mista di legno e ferro (v. fig. 14), come quelli pel ponte S. Luigi sul Mississippi (1869-71); ed anche—sebbene più raramente—cassoni esclusivamente di legno, dei quali un esempio ce lo porgono i ponti americani Boonville, S.^t Joseph ed Atchinson sul Missouri, nonchè quelli sull'Arkansas River e sul Jall River (*). Ciò può farsi dove il legname abbonda; ma se economicamente sembri preferibile tale struttura, dal lato della stabilità non è da consigliarsi, giacchè col tempo il legno, specialmente se non bene scelto, può marcire, con danno del soprastante manufatto.

Si costruiscono benanche cassoni parzialmente o completamente di muratura: sempre però col coltello di ferro affidato ad un telaio su cui poggia il muramento (v. fig. 10). L'ossatura di ferro è costituita generalmente dalle travi, dalle mensole e dal detto telaio col relativo coltello. Le facce esterne della muratura debbono però essere bene intonacate a cemento, ed in generale la fattura deve essere condotta con somma cura e diligenza, e richiede molto magistero. Epperò difficilmente il costo per tal genere di cassoni risulta in modo sensibile inferiore a quello pei cassoni di ferro.

Con tal sistema di cassoni di fabbrica sopra corona metallica (*radiator*) e senza inviluppo, furono costruiti il ponte Hohnsdorf sull'Elba (1876) e quello di Marmande sulla Garonna (1880-81); pel primo dei quali la muratura della camera di lavoro era a forma di cupola poggiate sull'anello metallico del coltello (**).

b) Calcolazioni per la ricerca delle dimensioni da assegnarsi alle varie parti del cassone.

Per tali calcolazioni si deve considerare il caso in cui il cassone abbia raggiunto il suo stabile piano di appoggio, e che quindi all'esterno agisca la massima pressione del terreno col suo sovraccarico di acqua, ed all'interno la massima contropressione pneumatica (***) .

(*) Questi ponti furono costruiti dalle Compagnie American-Bridge e Detroit-Bridge (1871-75).

(**) Vedi Pozzi.—*Fondazioni pneumatiche*. Cap. III, § 9.

(***) Le calcolazioni a seguirsi nei singoli casi, per la ricerca degli spessori da darsi

1) Lamiere delle pareti. — Le due forze che bisogna porre a calcolo per la ricerca dello spessore da assegnarsi alle lamiere delle pareti del cassone, sono dunque la pressione del terreno, nel quale il cassone trovasi affondato, e quella dell'aria compressa che agisce nell'interno della camera di lavoro.

Per conoscere la prima delle due cennate forze, ossia la pressione esterna che per unità di perimetro del cassone agisce su tutta l'altezza delle pareti dello stesso, chiamando con α l'angolo che la scarpa del terreno bagnato forma con la verticale (angolo complementare di quello φ d'attrito), con H la discesa del coltello sotto il fondo naturale del terreno, con a l'altezza dell'acqua soprastante, e con π il peso specifico del terreno bagnato (v. fig. 12); si ha che il triangolo della massima spinta è determinato dalla bisettrice dell'angolo α , il cui peso è

$$P_1 = \frac{1}{2} \pi H^2 \tan^2 \frac{1}{2} \alpha,$$

ed il sovraccarico dell'acqua è

$$P_2 = 1000 a H \tan^2 \frac{1}{2} \alpha.$$

Quindi la spinta o pressione relativa a tutta l'altezza per la quale il cassone è profondato, è

$$S = (P_1 + P_2) \tan^2 \frac{1}{2} \alpha = H \left(\frac{\pi}{2} H + 1000 a \right) \tan^2 \frac{1}{2} \alpha. \quad (1)$$

Ad avere la pressione p' che direttamente agisce, per unità di perimetro, su tutta l'altezza h delle pareti della camera di scavo, ritenendo la pressione unitaria espressa da

$$p_0 = \left(\frac{\pi}{2} H + 1000 a \right) \tan^2 \frac{1}{2} \alpha$$

(cioè a dire che sia uniformemente ripartita, ovvero che sia proporzionale alle superficie, e quindi alle relative altezze), si ha:

$$p' = h \left(\frac{\pi}{2} H + 1000 a \right) \tan^2 \frac{1}{2} \alpha. \quad (2)$$

La seconda forza, quella cioè dovuta all'azione dell'aria compressa, è in relazione del solo affondamento del cassone, giacchè essa deve

alle varie parti del cassone, debbono essere fatte con cura e confrontate con gli esempi della pratica, per non aversi poi a deplorare una mala riuscita dell'opera o disgrazie, in seguito a deformazioni o rottura del cassone.

controbilanciare un carico di acqua d'altezza $(a+H)$. Denotandola con p'' , si ha:

$$p'' = 1000 h (a + H) \quad (3)$$

Epperò la pressione p a cui vanno soggette le lamiere delle pareti della camera di scavo, è la differenza delle due forze trovate, ossia:

$$p = p'' - p' = 1000 h \left[a + H - \left(a + \frac{\pi}{2000} H \right) \tan^2 \frac{1}{2} \alpha \right]^{(*)} \quad (4)$$

Volendosi però abbondare in precauzione, si può considerare che le pareti della camera di scavo subiscano la pressione dovuta alla sola azione dell'aria compressa, ossia al carico d'acqua di altezza $(a+H)$; epperò per valore della p si può assumere quello trovato per p'' :

$$p = 1000 h (a + H) \quad (5)$$

Un'altra ipotesi a potersi fare, è quella di ritenere che il cassone sia soggetto nel suo contorno alla spinta di una massa di terreno incoerente e scorrevole (di peso specifico medio kg. 1500): con questa ipotesi la pressione agente sull'altezza h della camera di scavo è rappresentata (v. fig. 36) dal trapezio ABCD. Intanto ponendo mente che del trapezio di spinta EFCD per unità di contorno su tutta l'altezza H del cassone, il triangolo EGD ha la densità 1500, mentre il rimanente rettangolo EFCG è di densità 1000, si ha:

$$p = 1000 H \left(a + \frac{3}{4} H \right) - 1000 (H - h) \left[a + \frac{3}{4} (H - h) \right],$$

che può esprimersi più semplicemente:

$$p = 1000 h \left[a + H + \frac{1}{2} \left(H - \frac{3}{2} h \right) \right] \quad (**)$$

Conosciuta la pressione p , per trovare lo spessore delle pareti di lamiere, si supponga che queste, anzichè formare un sol tutto, si limitino alla larghezza compresa tra due montanti: potranno esse con tal supposizione essere considerate come incastrate ai loro estremi.

(*) Nel caso di terreni di ordinaria consistenza potendosi ritenere $\pi = 2000$ e $\varphi = 40^\circ$ (e quindi $\frac{1}{2} \alpha = 25^\circ$), la formola (4) diventa: $p = 780 h (a + H)$.

(**) La prudenza consiglia di attenersi a quest'ultima ipotesi, per scongiurare possibili disastri durante l'esecuzione dei lavori, come purtroppo si ebbero a deplorare per le fondazioni del ponte sul Lijm-Fjord nel Jutland (1875) e per quelle del ponte di Liteini a Pietroburgo (1877), dove la pressione, elevandosi oltre il limite prestabilito, produsse delle lacerazioni nelle lamiere dei cassoni, e conseguentemente fu causa della morte degli operai che trovavansi in essi.

Se I denota il momento d'inerzia della sezione,
 n la distanza delle fibre più lontane dall'asse neutro,
 R il coefficiente limite di resistenza (*),
 M il massimo momento inflettente,

si ha la relazione:

$$M = \frac{RI}{n}. \quad (7)$$

Se s indica lo spessore delle lamiere ($s=2n$), ed h , come si è detto, l'altezza dal coltello al soffitto, si ha:

$$\frac{I}{n} = \frac{\frac{1}{12}hs^3}{\frac{1}{2}s} = \frac{1}{6}hs^2. \quad (8)$$

Intanto il momento massimo inflettente M , che si verifica nelle sezioni d'incastro, è dato da

$$M = \frac{1}{12}pl^2, \quad (9)$$

in cui l denota lo scartamento dei montanti.

Sicchè si ha, sostituendo nella (7) i valori delle (8) e (9):

$$\frac{1}{12}pl^2 = \frac{1}{6}Rhs^2;$$

ossia

$$s = l \sqrt{\frac{p}{2Rh}}. \quad (10)$$

2) Lamiere del soffitto. — Per le lamiere del soffitto il procedimento del calcolo è identico. Denotando con s_1 il loro spessore, con p_1 la pressione o carico unitario, ed l_1 lo scartamento delle travi (che in generale è uguale a quello dei montanti), si ha dalla (8):

$$\frac{I}{n} = \frac{1}{6}s_1^2, \quad (11)$$

e dalla (10):

$$s_1 = l_1 \sqrt{\frac{p_1}{2R}} \quad (12)$$

La pressione unitaria intanto è espressa da

$$p_1 = \pi'(a + H - h), \quad (13)$$

in cui π' esprime il peso specifico della muratura meno quello del-

(*) Per tali cassoni si può spingere con sicurezza R fino a kg. 12 per millimetro quadrato di sezione.

l'acqua che agisce indirettamente sotto il soffitto in senso opposto, mediante la forza dell'aria compressa (*).

3) Travi del soffitto.—Pel calcolo delle dimensioni da assegnarsi alle travi, si considerano queste come appoggiate ai due estremi, e sollecitate uniformemente da un peso unitario p_2 (peso proprio e relativo sovraccarico del masso murario), senza cioè tener conto della sottopressione dell'aria, per eccedere in resistenza; sicchè se l_2 è la loro lunghezza, il massimo momento inflettente è:

$$M = \frac{1}{8} p_2 l_2^2 (**)$$

L'altezza più conveniente da darsi a dette travi varia da $\frac{1}{6}$ ad $\frac{1}{12}$ della loro portata: limiti corrispondenti agli scartamenti di m. 2,00 ÷ 0,70.

4) Dati pratici. — A dare un'idea più completa delle dimensioni adottate in pratica per vari cassoni, valgano le seguenti notizie:

1°—*Ponte a Sesto Calende sul Ticino.*

Camera di scavo (v. fig. 13).

Dimensioni, in pianta, dei cassoni delle pile: m. 16,40 × 5,50, con rostri semicircolari ai lati corti del rettangolo (***) .

Dimensioni simili dei cassoni delle spalle: m. 16,90 × 6,00, con angoli arrotondati ad un quarto di cerchio (di raggio m. 3,00) verso il fiume.

Altezza: m. 2,20.

Spessore delle lamiere delle pareti: $\frac{m}{m}$ 12.

Cantionali orizzontali di rinforzo, di $\frac{m}{m} \frac{60 \times 60}{8}$, posti a m. 0,36 d'interasse.

Spessore delle lamiere del soffitto: $\frac{m}{m}$ 12.

(*) Se la muratura nella camera superiore non dovesse progredire con l'affondamento del cassone, è chiaro che la forza da mettersi a calcolo per la resistenza del soffitto sarebbe solo quella della sottopressione dell'aria.

Si fa intanto notare che spesso i suddetti due valori di s ed s_1 si adottano più piccoli, giacchè si suole fare, per lo più, un rivestimento interno di muratura tra montante e montante, e robustare il soffitto con voltine parimenti di fabbrica.

(**) Nel calcolo delle travi la sezione trasversale può, per eccesso, ritenersi simmetrica, non considerando cioè la lamiera che forma soffitto, e che funziona da piattabanda.

(***) In generale, e quasi sempre, la base del cassone è rettangolare, con o senza rostri agli estremi. Se ne costruiscono però anche a base quadrata, circolare od ellittica, come pure (sebbene più raramente) a base parallelogrammica: — così, ad esempio, i tre ponti obliqui sul fiume Velino furono fondati con cassoni obliqui (angoli di obliquità: 25° e 35°). Si consulti il Biadego—*Fondazioni ad aria compressa*. Appendice alla Memoria VII, § 11.

Travi trasversali del soffitto: formate da un'anima di $\frac{m}{m}$ 480 \times 8, da quattro cantonali di $\frac{m}{m}$ $\frac{70 \times 70}{10}$ e da piattabande di $\frac{m}{m}$ 150 \times 8.

Luce lorda delle travi: per le pile m. 5,50
per le spalle " 6,00
" netta " " per le pile " 3,50
per le spalle " 4,00.

Scartamento delle travi: m. 1,10.

Mensole: costituite da cantonali in giro di $\frac{m}{m}$ $\frac{70 \times 70}{10}$ e da un'anima di $\frac{m}{m}$ 10;—sporgenza delle mensole: m. 1,00.

Coltello: costituito da un cantonale orizzontale di $\frac{m}{m}$ $\frac{100 \times 100}{12}$ e da un ferro piatto di $\frac{m}{m}$ 210 \times 14.

Camini, di diametro m. 1,04: n° 4 per cassone.

Camera di caricamento.

Spessore delle lamiere delle pareti: $\frac{m}{m}$ 4.

Cantonali di rinforzo, di $\frac{m}{m}$ $\frac{60 \times 60}{8}$, posti orizzontali con interasse di m. 0,50.

2° — Ponte a Pontelagoscuro sul Po.

Camera di scavo.

Dimensioni, in pianta: m. 11,00 \times 5,00, con rostri semicircolari di diametro m. 5,00.

Altezza: m. 2,20.

Spessore delle lamiere delle pareti: $\frac{m}{m}$ 12.

Cantonali orizzontali di rinforzo, di $\frac{m}{m}$ $\frac{80 \times 80}{10}$, posti a m. 0,55 di distanza tra di loro

Spessore delle lamiere del soffitto: $\frac{m}{m}$ 12.

Travi trasversali del soffitto: formate da un'anima di $\frac{m}{m}$ 500 \times 10 e da quattro cantonali di $\frac{m}{m}$ $\frac{70 \times 70}{12}$

Luce lorda delle travi: m. 5,00
" netta " " " 3,00
Scartamento " " " 1,20

Mensole di rinforzo: formate da doppi cantonali di $\frac{m}{m}$ $\frac{70 \times 70}{12}$ e da una lamiera di $\frac{m}{m}$ 10;—sporgenza delle mensole: m. 1,00.

Coltello: costituito da un cantonale orizzontale di $\frac{m}{m}$ $\frac{100 \times 100}{12}$ e da un ferro piatto di $\frac{m}{m}$ 200 \times 14.

Camini, di diametro m. 1,00: n° 2 per cassone.

Camera di caricamento.

Spessore delle lamiera delle pareti: m/m 4.

Cantionali di rinforzo, di m/m $\frac{80 \times 80}{10}$, posti orizzontali alla distanza tra loro di m. 1,10.

3°—*Ponte a Mezzanacorti sul Po.*

Camera di scavo.

Dimensioni, in pianta, pei cassoni delle pile: m. 15,00 \times 5,60, con rostri semicircolari agli estremi.

Idem pel cassone della pila centrale: m. 15,00 \times 6,60, con rostri semicircolari.

Idem pei cassoni delle spalle: m. 14,60 \times 5,60.

Idem pel quelli delle retrospalle: pianta circolare di diametro m. 6,00.

Altezza: m. 2,70.

Spessori delle lamiera delle pareti: m/m 10 e 12.

Travi a Γ di rinforzo alle pareti: poste a m. 0,94 di distanza tra loro, e formate da un'anima di m/m 490 \times 10 e da cantionali di m/m $\frac{80 \times 80}{10}$.

Spessore delle lamiera del soffitto: m/m 12.

Travi del soffitto: poste in senso longitudinale con mensoloni sottostanti, e formate da un'anima di m/m 250 \times 6 \div 350 \times 6 e da quattro cantionali di m/m $\frac{60 \times 60}{9}$.

Luce delle travi, corrispondente alla distanza tra le dette mensole: m. 0,70

Scartamento delle stesse: m. 0,70.

Mensole, sporgenza: m. 1,20 \div 2,20.

Coltello: formato da tre ferri piatti di m/m 12.

Camini, di diametro m. 0,73: n° 4 per ogni cassone di pila, e n° 2 per quelli delle retrospalle.

Camera di caricamento.

Spessore delle lamiera delle pareti: m/m 5 per le pile, e m/m 4 per le retrospalle (senza cantionali di robustamento).

4°—*Ponte a Borgoforte sul Po.*

Camera di scavo.

Dimensioni, in pianta, dei cassoni delle pile: m. 9,00 \times 3,30.

Idem pei cassoni delle spalle: m. 6,50 \times 4,50.

Altezza: m. 2,20.

Spessore delle lamiera delle pareti: m/m 8.

Cantionali orizzontali di rinforzo, di m/m $\frac{60 \times 60}{8}$, posti con interasse di m. 0,35.

Spessore delle lamiera del soffitto: m/m 8.

Travi trasversali del soffitto: formate da un'anima di m/m 400 \times 8 e da quattro cantionali.

Luce lorda delle travi: m. 3,30

„ netta „ „ „ 1,40

Scartamento „ „ „ 1,00.

Mensole: costituite da cantonali di contorno con anima di lamiera di $\frac{m}{m}$ 10;—
sporgenza delle mensole: m. 0,80.

Camini, di diametro m. 1,00: n° 2 per cassone.

Camera di caricamento.

Spessore delle lamiere delle pareti: $\frac{m}{m}$ 4.

Cantonali di rinforzo, di $\frac{m}{m}$ $\frac{60 \times 60}{8}$, posti alla distanza di m. 1,20 tra loro.

5°—*Ponte sul torrente Sansobia.*

Camera di scavo.

Dimensioni, in pianta: m. 10,00 \times 4,00, con rostri semicircolari agli estremi;—
Altezza: m. 2,08.

Spessore delle lamiere delle pareti: $\frac{m}{m}$ 10.

Cantonali orizzontali di rinforzo, di $\frac{m}{m}$ $\frac{80 \times 80}{10}$, a distanza tra di loro
di m. 0,70.

Spessore delle lamiere del soffitto: $\frac{m}{m}$ 10.

Travi trasversali del soffitto: formate da un'anima di $\frac{m}{m}$ 350 \times 8 e da quat-
tro cantonali di $\frac{m}{m}$ $\frac{80 \times 80}{10}$. Longitudinalmente, ed in asse, queste furono
collegate da una trave delle stesse dimensioni.

Luce netta delle travi: m. 2,42.

Scartamento „ „ „ 1,10.

Mensole: formate da doppi cantonali di $\frac{m}{m}$ $\frac{70 \times 70}{8}$ e da un'anima di $\frac{m}{m}$ 10;—
sporgenza delle mensole: m. 0,79.

Coltello: formato da un cantonale di $\frac{m}{m}$ $\frac{150 \times 90}{14}$ e da un ferro piatto
di $\frac{m}{m}$ 200 \times 15.

Camino, di diametro m. 0,90

6°—*Muraglioni del Tevere a Roma.*

Cassoni adoperati dall'Impresa Industriale Italiana (*).

Camera di scavo.

Dimensioni, in pianta: m. 20,00 \times 4,80.

Altezza: m. 2,20.

Spessore delle lamiere delle pareti: $\frac{m}{m}$ 8.

Idem di quelle del soffitto: $\frac{m}{m}$ 9.

Travi trasversali del soffitto: formate da un'anima di $\frac{m}{m}$ 330 \times 6 e da quat-
tro cantonali di $\frac{m}{m}$ $\frac{60 \times 60}{7}$.

(*) I primi lavori di fondazione dei muraglioni del Tevere furono eseguiti alla Farnesina nel 1882 dall'Impresa Industriale Italiana di Napoli: in seguito i lavori furono appaltati all'Impresa Zschokke e Terrier.

Luce lorda delle travi: m. 4,80.

 " netta " " " 2,80.

Scartamento " " " 1,10.

Mensole: costituite da doppi cantonali di contorno di $\frac{m}{m} \frac{70 \times 70}{9}$ e da un'anima di $\frac{m}{m} 10$;—sporgenza della mensola: m. 1,00.

Coltello: formato da un cantonale di $\frac{m}{m} \frac{150 \times 90}{15}$ e da due ferri piatti di $\frac{m}{m} 200 \times 8$.

Camini, di diametro m. 0,914; con lamiera di spessore $\frac{m}{m} 7$.

Camera di caricamento.

Spessore delle lamiere: $\frac{m}{m} 8$ per l'altezza di m. 0,30

 " 7 per la parte superiore.

Cassoni adoperati dall'Impresa Zschokke e Terrier.

Camera di scavo.

Lunghezza in pianta: m. 20,00 ÷ 30,00 — larghezza: m. 4,80 ÷ 5,80.

Altezza: m. 2,00.

Spessore delle lamiere delle pareti e di quelle del soffitto: $\frac{m}{m} 8$.

Travi trasversali del soffitto: formate da un'anima di lamiera di altezza $\frac{m}{m} 350$, e da quattro cantonali. Queste furono collegate da due travi longitudinali, di eguale altezza.

Luce lorda delle travi: m. 4,80 ÷ 5,80.

 " netta " " " 2,70 ÷ 3,70.

Scartamento " " " 1,10.

Mensole: costituite da un'anima a parete piena di $\frac{m}{m} 8$ e da cantonali di contorno di $\frac{m}{m} \frac{70 \times 70}{9}$; — sporgenza delle mensole: m. 1,05.

7°—*Ponte Garibaldi a Roma sul Tevere.*

Camera di scavo.

Dimensioni, in pianta, dei cassoni delle spalle: m. 31,80 × 15,30.

Idem di quello della pila: m. 38,70 × 15,30, con rostri semicirculari agli estremi, di diametro m. 15,30.

Altezza: m. 2,00.

Spessore delle lamiere delle pareti: $\frac{m}{m} 6$; idem di quelle del soffitto: $\frac{m}{m} 4$.

Tutta la camera fu divisa da travi trasversali in quattro scompartimenti per i cassoni delle spalle, ed in cinque per quello della pila.

Travi a \perp poste longitudinalmente, di altezza $\frac{m}{m} 500$. Scartamento delle travi: m. 1,00.

Camera di caricamento.

Spessore delle lamiere delle pareti: $\frac{m}{m} 4$. Tali lamiere furono robustate da tiranti di ferro.

8°—*Ponte S. Luigi sul Mississippi.*

Camera di scavo.

Dimensioni, in pianta, del cassone della pila est: m. 16,50 × 18,50, con rostri triangolari di m. 18,50 × 4,50.

Altezza: m. 2,75.

Spessore delle lamiere delle pareti e di quelle del soffitto: $\frac{m}{m}$ 10.

Travi a Γ di altezza m. 1,52, con anima di lamiera: in numero di 15, appoggiate su mensoloni di ferro.

Le pareti furono robustate da saettoni di ferro all'ingiro; tutto il cassone poi fu reso più rigido e solido da due assiti costrutti con travi di legno, di sezione m. $0,30 \times 0,30$, poste orizzontalmente e secondo il lato più lungo. In tal modo la camera di scavo fu divisa in tre scompartimenti — i quali però comunicavano tra loro per mezzo di alcuni vani lasciati nelle suddette pareti (*).

Camini: n° 6 di diametro m. 2,45 (due per ogni scompartimento della camera di scavo), e n° 1 centrale di diametro m. 3,05, con scaletta di ferro ad elica per la discesa degli operai (**). Tali camini vennero eseguiti senza il rivestimento di lamiere di ferro, ma con muratura in giro di mattoni e cemento; però, attesa la forte pressione dell'acqua, si dovettero garentirli con ossatura di legname.

Camera di caricamento.

Spessore delle lamiere: $\frac{m}{m}$ 10. Queste furono robustate da puntelli di legno contro la muratura; e lo spazio tra la parete di ferro e la muratura venne colmato di sabbia (v. fig. 14).

c) **Formule empiriche per determinare il peso del cassone.**

Il peso unitario del cassone, per ogni metro quadrato di pianta, esclusa tutta la parte superiore alle travi del soffitto, che costituisce la camera di caricamento (variabile di altezza con l'approfondamento) non si può *a priori* fissare con molta approssimazione prima di calcolarne tutte le parti. Pei ponti esteri quel peso non è stato finora minore di chg. 250 a m.q., per quelli italiani non minore di chg. 470 (**).

Per le pareti della camera di caricamento il peso è in generale di chg. $30 \div 50$ per m.q. di superficie verticale.

Il Séjourné, dagli elementi di varii cassoni costruiti in Francia, ricavava una formola, in cui, per la determinazione del peso P , entrano in funzione la superficie S occupata in pianta dal cassone, ed il suo perimetro C : — tale formola è:

$$P = 130 S + 280 C.$$

Il Pozzi dà invece:

$$P = 160 S + 650 C,$$

(*) Per altri cassoni dell'istesso ponte fu adoperata l'ossatura di legno quercia; e solo per renderli stagni, furono foderati con lamiere di ferro di $\frac{m}{m}$ 10. Lo spessore del soffitto di legno fu di m. 1,47: quello delle pareti, m. 0,45 al bordo inferiore, e m. 2,60 presso il soffitto. Le pareti dei tramezzi furono portate alla grossezza di m. 1,06 alla parte inferiore, e m. 3,05 a quella superiore.

(**) Pel cassone della spalla est, nel pozzo centrale alla scala fu sostituito un ascensore; giacchè era malagevole per gli operai la salita per m. 37 circa di altezza del pozzo, essendo gli stessi già stanchi ed oppressi dal lavoro eseguito alla presenza dell'aria fortemente compressa.

(***) Vedi Pozzi — *Fondazioni pneumatiche*. Prospetto C.

dichiarando che essa può applicarsi per cassoni di pianta m. $4 \div 5$ di larghezza, e m. 10 di lunghezza, mediamente.

Il Turazza nel suo trattato sui *Lavori subacquei ad aria compressa*, riferendosi a cassoni dell'altezza ordinaria di m. 2,00, e dinotando con l la larghezza in pianta del cassone, e con kl la sua lunghezza, riporta le seguenti formole empiriche, nelle quali entrano parimenti la superficie di base del cassone ed il suo perimetro.

Per un cassone di pianta rettangolare :

$$P_1 = 86 \{ l[5,27 + k(5,25 + 1,05 l)] - 0,92 \},$$

idem con rostri circolari :

$$P_2 = 86 l \{ 2,83(1,14 + 2k) + l[k(1,17 + 0,05 l) - 0,21] \}.$$

E per cassoni con soffitti di muratura, rispettivamente :

$$P_1 = 86 \{ l[5,27 + k(5,25 + 0,05 l)] - 0,92 \},$$

$$P_2 = 86 l \{ 2,83(1,14 + 2k) + kl(0,17 + 0,05) \}.$$

Queste formole però danno risultati sempre un po' larghi.

Le citate formole si possono più agevolmente paragonare tra loro, se si esprimono con coefficienti algebrici. Per cui, denotando con S la superficie di base del cassone, con a il suo lato lungo e b il lato corto, si ha la formola del Séjourné e quella del Pozzi espresse da :

$$P = \alpha S + \beta a + \gamma b;$$

e quelle del Turazza, da :

$$P_1 = \alpha_1 S + \beta_1 a + \gamma_1 b - \delta_1$$

$$P_2 = \alpha_2 S + \beta_2 a + \gamma_2 b + \delta_2 S b.$$

d) Montatura e manovra per l'affondamento del cassone.

A seconda delle circostanze locali e delle condizioni del fiume, si segue un metodo piuttosto che un altro per la montatura e l'immersione dei cassoni. Occorre generalmente una piattaforma provvisoria di legno (*faux plancher*), su cui collegare le varie parti del cassone: questa piattaforma potrà appartenere ad un castello parimenti di legno, eretto al sito dell'immersione (*castello fisso*), o ad un castello mobile poggiato su dei barconi (*castello o pontone galleggiante*), ovvero formare piano inclinato (*scalo*) sulla riva del fiume, di dove il cassone sarà varato.

1) **Manovra col castello.** — Col sistema dell'impalcatura a castello (*échafaud*), sia fisso, che galleggiante, il cassone, dapprima costruito poggiante su di quella, è di poi sospeso e guidato nella discesa da catene che girano intorno a grosse pulegge, sostenute da apposite armature sull'istesso castello, ad un piano superiore. Con viene che le pulegge sieno tutte caricate e mosse egualmente.

Giunto il cassone a poggiarsi sul fondo, e penetrato il coltello ne terreno, si completa la montatura dell'apparecchio, con i camini le camere di equilibrio e gli altri accessori; e quindi, introdotta l'aria compressa, dopo aver ben livellato il fondo ed orizzontato il cassone, si comincia il lavoro di scavo (*).

L'uso del castello fisso, sebbene alquanto più dispendioso di qualunque altro sistema, è preferibile, perchè mediante un ponte di servizio, che lo mette in comunicazione con il cantiere sulla riva, rende possibili e facili tutte le manovre indispensabili nel corso dei lavori. Questi castelli vengono costruiti con robusti pali conficcati nel fondo

(*) Per quanta diligenza e cura si osservi in tale manovra di affondamento, si avvera, può dirsi, quasi sempre una certa deviazione del cassone. Così, ad esempio, al ponte sull'Allier a Vichy, nonostante i congegni perfetti adoperati, nella discesa il cassone subì lo spostamento di centim. 12: al ponte americano di Brooklyn sulla Riviera dell'Est (Missouri) gli spostamenti verificati furono di centim. 30 e centim. 22, secondo i due lati del cassone. Al ponte sul Ticino a Turbigo, il cassone della pila destra fu affondato a m. 12,46 sotto la massima magra, con uno strapiombo di m. 0,46; epperò si dovette necessariamente rimetterlo verticale, prima di eseguirvi la muratura interna.

Al ponte Dufferin sul Gange a Bénarès, le pile n.º 6 e 7 (a partire dalla riva sinistra) profondate nel suolo per m. 33 e m. 41, s'inclinarono verso sud con deviazioni di m. 1,45 e m. 1,60 rispettivamente, a causa di un sottostrato di terra molto duro. Il raddrizzamento si ottenne nel seguente modo. Si scavò il terreno fino a fior d'acqua, dal lato cioè dove ciascun pilastro minacciava di avanzarsi, con una scarpata a 45°: su questo piano inclinato si costruì un robusto reticolato di traverse e rotaie, sul quale, e per tutto il resto del cavo, si fece un riempimento con mattoni. Il tutto costituiva così un masso cuneiforme, pronto a spingere il pilastro a misura che esso s'affondasse. Infatti dopo m. 1,70 di discesa della pila n.º 6 e m. 6,25 della n.º 7, si ottenne il desiderato raddrizzamento di entrambe.

I detti spostamenti sono dovuti principalmente alla resistenza d'attrito, che varia secondo la diversa natura del mezzo da trasversare, all'inclinazione delle stratificazioni geologiche, all'incontro di corpi non omogenei, trovanti, avanzi di animali pietrificati (come a Bénarès), tronchi di alberi, nonchè alla forma del cassone: infatti con cassoni di pianta circolare o quadrata s'incontra minore difficoltà che con quelli di forma rettangolare. Sono tali spostamenti inoltre dovuti alle escavazioni prodotte dalle correnti, ai sovraccarichi eccentrici sulla pila in costruzione, ed in generale a qualsiasi ostacolo che possa opporre più forte resistenza in un punto del coltello del cassone.

Giova molto ad attenuare questi strapiombi l'adoprarne (come fu usato al ponte di Brooklyn) cassoni con coltelli ad angolo molto ottuso; giacchè in tal caso se il cassone tende ad inclinarsi verso un lato, il coltello presenta tosto una certa superficie alla reazione del suolo compresso, la quale arresta il progresso dello strapiombo.

del fiume all'ingiro dell'area della fondazione (v. fig. 4, 5 e 21). Le stilate sono collegate e formano sistema rigido, mercè traverse orizzontali e diagonali, poste a diversi ordini. A conveniente altezza sul pelo d'acqua si costruisce un tavolato (*plancher*), ed in cima al castello vengono fissati i verricelli (*trevils*). Si usa anche una gru che possa, con doppio movimento di traslazione, prendere qualunque posizione rispetto al piano di manovra (*).

Danno un bell'esempio i castelli pei ponti italiani a Sesto Calende ed a Mezzanacorti (**).

2) Manovra con lo scalo. — Se il fiume abbia in magra una profondità d'acqua non minore di m. 2,00, così da permettere che il cassone possa essere varato, e con ormeggi (*amarres*) trasportato galleggiante al sito d'immersione: e se la velocità della corrente è mite da rendere possibile una tale manovra, torna vantaggioso costruire il cassone sulla sponda, sopra apposito piano inclinato di legname (v. fig. 15), come su di uno scalo, ed in seguito, completata la montatura, vararlo. Con questo sistema di manovra il cassone deve poter galleggiare sull'acqua; e per tale scopo esso vien costruito a doppia fodera nell'interno, con una seconda lamiera che s'imbollona al lato inclinato dei mensoloni. Il vuoto interposto, allorchando il cassone dovrà essere immerso, verrà occupato dall'acqua, che introduce si da alcuni fori previamente turati sulla parete esterna della camera di lavoro; ed in ultimo sarà colmato con muratura (***). Altre volte il cassone si rende galleggiante mediante botticelle legate in giro ad esso.

3) Calcoli relativi. — Il piano inclinato deve avere tale un angolo α all'orizzonte, che il cassone possa scendere per gravità: quest'angolo è dato quindi dalla nota relazione $\text{tang } \alpha = f$, dinotando f il coefficiente di attrito. In generale deve ritenersi per valore di f quello relativo all'attrito nell'atto del primo distacco, che dalle esperienze risulta eguale a 0,1.

L'inclinazione α si ha pure dalla condizione che la velocità che deve acquistare il cassone nella discesa non debba essere minore di m. 4, perchè questo possa percorrere tutto il piano inclinato senza

(*) I pontoni galleggianti (*échafaudages flottants*) si adottano dove o per la natura del fondo, o per la profondità delle acque, ovvero per le probabili escavazioni dei gorgi e delle correnti, riesce difficile l'impianto dei pali.

(**) Per particolari e dati di fatto, relativi ai castelli di legname, nonchè ai ponti di servizio ed ai cantieri, vedi Biadego—*Fondazioni ad aria compressa*. Capo II, § 3—e Pozzi—*Fondazioni pneumatiche*. Cap. III, § 13.

(***) In molti casi si cerca di utilizzare la fodera interna sovraccennata; epperò essa viene inchiodata sui montanti per poterla poi smontare.

essere ostacolato dall'acqua che cerca di porlo a galla prima della sua completa immersione.

Epperò chiamando h il dislivello del piano inclinato ed l la sua lunghezza, si ha:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl \operatorname{sen} \alpha},$$

ossia:

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{v^2}{2gl}, \quad (1)$$

che dà α in funzione di v .

Per conoscere direttamente $\operatorname{tang} \alpha$ anche in funzione di v , siccome è

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \operatorname{sen}^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{v^4}{(2gl)^2}},$$

risulta:

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{v^2}{\sqrt{(2gl)^2 - v^4}}. \quad (2)$$

Evidentemente la componente F del peso P del cassone secondo il piano inclinato ($F = P \operatorname{sen} \alpha$), che nel caso limite dovrebbe eguagliare la forza d'attrito, sarà alquanto maggiore di questa, per facilitare la discesa del cassone: la differenza dipende dal valore assunto per l'angolo α , sicchè chiamando N la componente del peso P normale al detto piano ($N = P \cos \alpha$), tale differenza sarà:

$$S = F - fN. \quad (3)$$

Questa forza S rappresenta la tensione a cui sono assoggettate le gomene che tengono frenato il cassone prima del varamento (*).

(*) Il Claudel ritiene che la resistenza alla rottura delle gomene di canape sia di chg. 5,10 per mmq. di sezione; e che però esse possano essere sottoposte senza pericolo ad un carico quinta parte di quello di rottura. Quindi se d è il diametro in millimetri della gomena ed S il carico o tensione, dovrà essere $S = \frac{1}{4} \pi d^2 \times 1,02$, da cui si ha:

$$d = 1,13 \sqrt{S}.$$

Il Reuleaux fa distinzione tra le gomene costruite più contorte (*gomene fisse*) e le meno contorte (*gomene mobili*), ed assegna come limite di tensione per le prime chg. 2,00 per mmq., e chg. 1,33 per le seconde; epperò dà le relative formule:

$$d = \sqrt{S} \text{ (gomene fisse)}$$

$$d = 1,20 \sqrt{S} \text{ (gomene mobili)}.$$

Per le gomene di ferro poi, il Claudel ammette che esse possano essere esposte con sicurezza ad un carico di chg. 14,00 per mmq. di sezione, carico cioè quinta

e) Ricerca del sovraccarico da dare al cassone per agevolare la discesa.

Per la ricerca del sovraccarico da dare al cassone affinché questo scenda nel terreno, bisogna trovare le forze ritardatrici alla discesa, ossia bisogna determinare:

1.° l'attrito che si sviluppa tra il terreno e le pareti del cassone, il quale è funzione della pressione agente sulle pareti stesse ;

2.° la contropressione dell'aria nell'interno della camera di lavoro.

— Per la prima forza, denotando con F la resistenza d'attrito, con f il relativo coefficiente, con P_0 e P_1 i perimetri della camera di scavo e della camera di caricamento, e con S_0 ed S_1 le spinte o pressioni unitarie che si verificano sulle pareti delle stesse, si ha:

$$F = f (P_0 S_0 + P_1 S_1). \quad (1)$$

Al paragrafo b) di questo Capo si è trovata la formola generale della pressione unitaria perimetrale:

$$S = H \left(\frac{\pi}{2} H + 1000 a \right) \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha,$$

la quale dà:

$$S_0 = h \left(\frac{\pi}{2} H + 1000 a \right) \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha.$$

ed

$$S_1 = (H - h) \left(\frac{\pi}{2} H + 1000 a \right) \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha.$$

Se si pone

$$\mu = \frac{\pi}{2} \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} \alpha, \quad \text{e} \quad \nu = 2000 \frac{a}{\pi},$$

la S_0 ed S_1 prenderanno la forma più semplice :

$$S_0 = \mu h (H + \nu), \quad S_1 = \mu (H - h) (H + \nu),$$

Sostituendo tali valori nella (1), quella diventa:

$$F = f \mu [P_0 h (H + \nu) + P_1 (H - h) (H + \nu)],$$

parte di quello di rottura.— Se ad esempio si ha una gomina di n.° 36 fili (di diametro ciascuno δ millimetri) riuniti in n.° 6 legnuoli di n.° 6 fili ognuno, si ha $S = \frac{1}{4} \pi \delta^2 \times 36 \times 14$, da cui: $\delta = 0,05 \sqrt{S}$; ed il diametro d della circonferenza circoscritta alla gomina, espresso in millimetri, è

$$d = 0,50 \sqrt{S},$$

giacchè si può assumere, a causa dei piccoli interstizii tra i legnuoli, $d = 10 \delta$.

ossia:

$$F = f\mu[P_0h + P_1(H-h)](H + v), \quad (2)$$

che nel caso di $P_0 = P_1$, si semplifica in

$$F = f\mu PH(H + v). \quad (3)$$

— La seconda forza ritardatrice alla discesa, ossia quella dovuta all'azione dell'aria compressa nell'interno della camera di scavo, è in ragion diretta delle atmosfere n di pressione e della superficie s del soffitto del cassone. Denotandola con F' , si ha:

$$F' = 10333 ns, \quad (4)$$

che può diversamente esprimersi con l'altezza $(H + a)$ di affondamento sotto il pelo di acqua, dovendo la F' eguagliare al massimo una colonna d'acqua di tale altezza, ossia:

$$10333 ns = 1000 (H + a)s,$$

epperò:

$$F' = 1000 (H + a)s. \quad (5)$$

Il peso K di caricamento più il peso k del cassone dovranno quindi vincere la resistenza F d'attrito più la contropressione F' dell'aria compressa; dovrà aversi perciò:

$$K > F + F' - k;$$

ovvero, sostituendo i valori di F ed F' :

$$K > f\mu[P_0h + P_1(H-h)](H + v) + 1000 (H + a)s - k. \quad (6)$$

La resistenza d'attrito varia con la qualità degli strati dei terreni attraversati dal cassone e del suo materiale di rivestimento che viene in contatto con quelli. L'ingegnere A. Schmoll ha sperimentato che tale resistenza varia ancora con la forma del cassone; avendo trovato che i cassoni di pianta circolare e quadrata incontrano minor resistenza alla discesa di quella pei cassoni di pianta rettangolare (*): inoltre, che la resistenza media per metro quadrato di superficie della parete esterna, a parità d'altre circostanze, diminuisce con la profondità, pur aumentando, com'è naturale, la resistenza totale.

(*) Ciò è facilmente spiegabile, giacchè a parità di area di base del cassone, e quindi di volume e di peso dello stesso, i cassoni di pianta rettangolare presentano contro il terreno una superficie perimetrale maggiore di quelli di pianta quadrata o circolare.

Si riportano qui alcuni risultati sperimentali registrati dal signor Schmoll:

INDICAZIONE dell' opera e data della sua costruzione	NATURA degli strati attraversati	AFFONDAMENTO DEL CASSONE		RESISTENZA d'attrito per m. q. di superficie di contatto del cassone col terreno (in Kg.)
		nel terreno (in m.)	sotto lo specchio d' acqua	
Viadotto sulla Sen- na ad Orival (1863)	Ghiaia con melma— ghiaia con sabbia— marna cretosa . . .	7,00 ÷ 16,90	10,30 ÷ 17,40	595 ÷ 1358
Ponte della Wien- Stadlau sul Danu- bio (1868-69)	Ghiaia con sabbia— ghiaia molto com- patta	3,60 ÷ 7,50	4,90 ÷ 9,50	1274 ÷ 3879
Ponte sul Danubio presso Steyeregg (1870-71)	Ghiaia con sabbia— grandi pietre—schi- sto compatto	3,50 ÷ 12,00	—	1743 ÷ 2636
Ponte sul Danubio presso Vienna (1870)	Ghiaia con sabbia— grandi pietre—tufò bleu	4,90 ÷ 12,30	8,40 ÷ 14,70	1866 ÷ 2766
Ponte Kronprinz Rüdolf a Vienna (1872)	Ghiaia con sabbia— ghiaia grossa—tufò bleu con sabbia, di media durezza — sabbia granitica . .	6,90	8,20	2233

Pei terreni melmosi, incoerenti o scorrevoli (*terrains limoneux, fluents*) il Gaudard dà la seguente formola d' attrito:

$$F = k \frac{\pi c b^2}{2} (*),$$

in cui:

- k è un coefficiente variabile con la natura del terreno,
- π il peso specifico del mezzo attraversato (pei terreni scorrevoli, in media, $\pi = \text{tonn. } 1,50$),
- c il contorno o perimetro di base del cassone,
- b la profondità di scavo.

(*) La formola non è nuova, giacchè il prodotto $\frac{1}{2} \pi c b^2$ rappresenta la spinta di una massa fluida contro un sostegno. Intanto è bene osservare che siccome non trattasi in questo caso di massa propriamente fluida, il coefficiente k non corrisponde esattamente a quello d' attrito, ma è un coefficiente dato dall' esperienza.

Ponendo $\pi = 1$, per valori del coefficiente k si assumono:

$k = 0,4$ (ghiaia),

$k = 0,6 \div 0,7$ (sabbia fluida) (*).

Dalla suddetta formula risulta che l'attrito unitario è rappresentato da

$$F_0 = \frac{1}{2} kb,$$

ossia che la resistenza unitaria d'attrito, nel caso dei terreni scorrevoli, è proporzionale alla profondità b d'infissione.

La resistenza totale poi, cresce, com'è chiaro, col quadrato di detta profondità.

La suespressa conclusione dello Schmoll sul valore della resistenza media d'attrito per metro quadrato, che cioè essa diminuisce con la profondità dell'affondamento, sebbene sembri un'anomalia, può essere nel fatto dovuta alla circostanza che i terreni stabili e coerenti o compatti che si voglia dire (facilmente rinvenibili nei sottostrati profondi) per la loro consistenza appunto, esercitano poca pressione sulle facce perimetrali della fondazione, e quindi alla loro profondità l'attrito è più tenue. Che anzi la pressione potrebbe quivi proprio annullarsi, se si pon mente che il cavo che si pratica sotto il pilastro in discesa non riesce sempre esattamente delle dimensioni esterne del cassone, ma si bene spesso un po' maggiore, verificandosi un certo gioco tra le pareti del cassone e la faccia del terreno tagliato: sicché per piccolo che possa essere questo gioco, il manufatto trovasi, per così dire, imprigionato per la sua parte superiore nei primi strati di terreno che per la loro poca coesione gli gravano dintorno, e libero, o quasi, per la parte sottostante. In tal caso i cassoni costruiti parzialmente o completamente di muratura possono lesionarsi in senso orizzontale per effetto di proprio peso, come accadde al ponte di Marmande sulla Garonne, al viadotto S. Léger ed al porto di Bordeaux.

Se ciò non accadesse pel fatto da noi accennato, l'attrito dovrebbe rendersi più sensibile col crescere della profondità di scavo, dappoiché, oltre che col crescere della pressione, è sperimentato che l'attrito aumenta col diminuire l'imbibizione d'acqua nel terreno (**).

(*) Se nei calcoli dovrà ritenersi per π il suo valore reale di tonn. 1,50, i valori di k saranno 0,267 (ghiaia) e $0,400 \div 0,467$ (sabbia fluida).

(**) A tal riguardo il sig. Parkinson, dietro osservazioni su alcuni pozzi indiani, ci fa sapere che la muratura di mattoni assorbendo l'acqua del terreno circostante, faceva talmente aderire la terra a sè, che nella discesa dei blocchi di fondazione si avvertivano degli strappamenti tra la terra asciutta aderita alla muratura e quella bagnata all'ingiro: ossia la discesa aveva luogo per laceramento tra la terra secca e quella umida.

Il Pozzi nel precitato libro sulle *Fondazioni pneumatiche* riporta alcuni dati relativi al valore dell' attrito per metro quadrato di superficie di contatto, ricavati da sue esperienze dirette.

Tali valori sono :

Sabbia e ghiaia.	Kg. 600
Sabbia argillosa con sabbia, ghiaia ed argilla. »	1400
Sabbia compatta	» 1700
Sabbia e ghiaia compatta	» 1800
Argilla sabbiosa.	» 2000
Argilla compatta	» 3000
Sabbia fina, con strati d'argilla di un metro	» 3300
Marna compatta.	» 5000 ÷ 7000

Veggansi al riguardo i Prospetti *E* ed *F* annessi al testo suddetto (*).

Qualora durante la discesa del cassone, per la grande profondità, la contropressione *F'* sia molto considerevole; ovvero se ad un certo punto la natura del terreno da attraversare sia tale, da impedire il proseguimento della discesa, nè basti a ciò l' aumentare il sovraccarico (salvo che l' ostacolo non provvenga da qualche masso roccioso, nel qual caso bisogna rimuoverlo), si ricorre al mezzo del vuotamente parziale o totale dell' aria compressa dalla camera di scavo, come si adottava per le prime fondazioni tubolari (**).

Così operando, e con certa cura, per non fare squilibrare o spostare dalla sua verticale il cassone, la contropressione diminuisce o si annulla, e quindi la forza del sovraccarico è maggiormente utilizzata. Inoltre non essendovi più equilibrio tra la pressione dell' aria interna e l'acqua esterna, questa, facendosi strada attraverso il fondo, smuove il terreno, epperò agevola la discesa dell' apparecchio.

f) Tempo occorrente alla discesa del cassone.

1) Generalità. — Nessun dato valido e sicuro si può registrare circa il tempo che può impiegare un cassone per un certo affondamento nel terreno. L' Ing. Funk, dietro alcuni studi fatti su ponti già costruiti, ritiene si possa ammettere che per cassoni di medie dimensioni la discesa sia nelle 24 ore di m. 0,40 ÷ 0,50. Questa misura però non deve ritenersi generale, perchè essa è variabile col

(*) Per altri dati sperimentali sulla resistenza d'attrito, si consulti il Biadego — *Fondazioni ad aria compressa*. Cap. II, § 5 (Tabella).

(**) Nell' incontro di massi di roccia, si è alcune volte ricorso al mezzo delle mine, come fu praticato pel ponte di Saltash sul fiume Tamar, dove si dovette spianare il fondo roccioso; e pel ponte Brooklyn a New-York sulla Riviera dell'Est (v. fig. 16). Al ponte sul Forth in Iseozia per il taglio della roccia basaltica si adoperò la *tonite* qual materia esplosiva da mine, producendo essa poco fumo.

variare della natura del terreno, della profondità a cui si spinge la fondazione, e delle dimensioni e forma del cassone.

La natura del terreno influisce per la differente resistenza che questo oppone ad essere solcato dal coltello e scavato dagli operai, e per l'attrito che sviluppa sulle pareti del cassone: la profondità di affondamento, per la ognora crescente contropressione nell'apparecchio, per cui bisogna alcune volte (come innanzi si è detto) diminuirvi a riprese la pressione dell'aria; ed anche pel tempo occorrente all'estrazione del materiale scavato, tempo che cresce in ragione della profondità a cui trovasi la camera di scavo: infine le dimensioni e la forma del cassone influiscono per la superficie d'attrito che esso presenta contro il terreno da attraversare (*).

2) Notizie di fatto.—Diamo intanto alcuni esempi relativi all'affondamento in esame, verificatosi nel tempo di 24 ore.

1.^o—*Ponte a Mezzanacorti sul Po.* — Abbassamento medio m. 0,60 circa per le pile e le spalle, e circa m. 0,80 per le retrospalle. Il terreno attraversato è costituito di strati di sabbia più o meno ghiaiosa.

2.^o—*Ponte a Casalmaggiore sul Po.*—Abbassamento medio m. 1,50 — massimo m. 2,70: attraversamento in sabbia e ghiaia minuta.

3.^o—*Ponte sul Serchio.* — Abbassamento medio m. 0,60 — massimo m. 1,65: terreno sabbioso con strati di sabbia argillosa.

4.^o—*Ponte a Sesto Calende sul Ticino.* — Abbassamento medio m. 0,50, attraverso sabbia fina, mista ad argilla.

5.^o—*Ponte a Kehl sul Reno.* — Pei primi strati l'affondamento fu di m. 0,10 per ora, mediamente: col crescere però della profondità, si ridusse a m. 0,025 per ora. La discesa media giornaliera fu:

(*) Nell'attraversamento degli strati argillosi, la discesa del cassone è lenta, oltrechè per l'attrito che si sviluppa tra il terreno e le pareti del cassone, per la difficoltà che incontrano gli operai a potere scavare e rimuovere il materiale. Invero le argille compatte, le marne e le puddinghe richiedono per essere scavate un tempo da tre a quattro volte quello occorrente allo scavo dei terreni ghiaiosi e sabbiosi. In questi invece, essendo il lavoro agevole e tenue l'attrito, la discesa prosegue di conseguenza più prontamente.

Così pel ponte a Szegedin sul fiume Theiss l'attrito era tenuissimo nell'attraversamento degli strati di sabbia e di ghiaia minuta; forte in quelli di argilla. Accadeva quivi spesso che all'uscita dell'aria dal tubo, nonostante un forte sovraccarico sullo stesso, la discesa non progrediva per alquanto tempo; poi tutt'ad un tratto il tubo discendeva per uno o due metri.

per la pila-spalla (francese)	di m.	0,333
»	»	(badese) » 0,517
»	pila	(francese) » 0,800
»	»	(badese) » 0,820

La natura del sottosuolo è di sabbia mista a ghiaia.

6.^o—*Ponte Garibaldi a Roma sul Tevere.* — Affondamento medio per le spalle m. $0,18 \div 0,20$: idem per la pila, m. 0,25. Il terreno attraversato è a strati alternati di argilla e di sabbia, con massi di antiche fabbriche.

7.^o—*Ponte ad Argenteuil sulla Senna.*— Affondamento giornaliero molto variabile: in media m. 1,00. Il terreno attraversato consta d'una serie di strati di sabbia, ghiaia e marna, miste ad argilla. La fondazione poggia sulla roccia calcarea (*).

3.^o — Camini.

a) Descrizione dei camini.

La camera di scavo è messa in comunicazione con la camera di equilibrio, per mezzo di uno o più tubi cilindrici di lamiera di ferro, detti *camini* o *pozzi* (*cheminées*), posti verticalmente sul soffitto della prima, e a quello fermati con chiodi o chivarde.

Tali camini constano di anelli di lamiera di altezza m. $1,80 \div 2,00$ e di spessore $\frac{m}{m} 5 \div 6$, robustati per lo più negli orli da cantonali di ferro ad essi inchiodati, e che servono a collegare un anello all'altro con chivarde: così essi possono smontarsi a fine di opera. Per rendere stagno il collegamento, s'interpongono delle strisce di caucciù tra le due suole o bordi dei segmenti cilindrici.

Il diametro di questi camini varia a seconda le dimensioni e l'importanza dell'intero apparecchio, e del metodo d'estrazione dei materiali: dev'essere però tale da permettere almeno il passaggio di un operaio.

Pel ponte a Mezzanacorti si adoprarono camini di diametro m. 0,73; pel ponte a Stendal sull'Elba, di m. 0,94; pel ponte a Sesto Calende, di m. 1,04.

Nell'interno di detti camini corre una scaletta, ordinariamente a piuoli di ferro, per l'accesso al fondo. Inoltre per evitare gli urti e diminuire le scosse dei secchioni nella loro discesa ed ascensione, spesso nei camini si fanno correre quattro bastoni verticali, due a due diametralmente opposti e distanti pochi centimetri dalla parete di quelli,

(*) Per maggiori dati di fatto e maggiori schiarimenti in proposito, si consulti il Biadego — *Fondazioni ad aria compressa*. Cap. II, § 8.