

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  $\delta$  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,
- $\pi$  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  $\pi$  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 provenga 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 Iseoza per il taglio della roccia basaltica si adoperò la *tonite* qual materia esplosiva da mine, producendo essa poco fumo.