

direttore e molti operai; ed inoltre per la forte pressione dell'aria, scoppiarono alcuni tubi, causando la morte a tre uomini.

Conseguentemente la massima profondità a cui possono spingersi le fondazioni pneumatiche non può oltrepassare i 35 metri sotto il pelo delle acque. La profondità infatti raggiuntasi pel citato ponte S. Luigi fu di circa m. 34 sotto le piene (m. 31 sotto le acque ordinarie) (*).

CAPO V.

Cassoni speciali.

1.º—Esempi di fondazioni pneumatiche eseguite in mare.

A completamento delle cose già esposte, giova dare anche qualche esempio di fondazioni ad aria compressa eseguite in mare.

Un'utile applicazione è quella che fu fatta al 1885 per l'impianto del faro di Bremerhaven, in corrispondenza della foce del Weser: — quivi il cassone corrispondente alla torre del faro, spalleggiato da due cassoni più piccoli, fu profondato a 22 metri sotto il livello di bassa marea (**).

Vale intanto la pena di fare particolare cenno delle fondazioni costrutte nei bacini di raddobbo nell'Arsenale di Tolone, per l'importanza dei grandi cassoni unici adoprati; e dell'impianto dei sostegni del maestoso ponte sul golfo di Forth in Scozia, per la grandiosità dell'opera in sè, per i vari sistemi tenuti nell'eseguire i lavori (sia all'asciutto, che in acqua, mediante ture, ovvero con cassoni pneumatici), ed anche quale esempio di opera colossale eseguita in questi ultimi tempi.

a) Bacini di raddobbo nel porto di Tolone.

Questi bacini in numero di due (v. fig. 31), furono impiantati nella darsena di Missiessy, per corazzate di 1º ordine; e vennero costruiti a mezzo di grandi cassoni pneumatici, su proposta dell'Ingegnere costruttore sig. Hersent (1878).

Per cadaun bacino fu adoprato un cassone di ferro, di lunghezza m. 144,00, larghezza m. 41,00 ed altezza m. 19,00: all'altezza di m. 2,00, a partire dal lembo inferiore, il cassone era diviso da un robusto soffitto metallico, di altezza m. 2,55; e la parte inferiore era suddivisa, nel senso della lunghezza, in n.º 18 scompartimenti eguali, formanti altrettante camere di lavoro per l'esecuzione dello scavo e per lo spianamento del fondo. Tali camere risultarono perciò di dimensioni m. 41,00×8,00 in pianta (inclusa la grossezza delle pareti),

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

(**) Vedi Gaudard — *Limites des fondations profondes*.

e m. 2,00 in altezza. Lo scompartimento superiore servi per farvi la costruzione muraria del bacino all' asciutto, affondandosi fino a rimanere col ciglio a m. 0,90 sull'alta marea.

La natura del fondo marino è, in quella località, permeabile, e formata di strati sovrapposti di un terreno denominato *safrè* dai francesi (forse sabbia azzurra), di puddinga e rognoni porosi. Per tale natura del sottosuolo lo scavo fu protratto alla profondità di m. 18,10 dal livello dell'alta marea, ossia alla profondità di circa m. 9 sotto il fondo naturale, essendo in quel sito l'altezza d'acqua di m. 9-10.

Il cassone per l'altezza di m. 7 circa fu montato sulla spiaggia, e poscia varato, ormeggiato ed affondato al sito d'impianto, fino a poggiare sul fondo: indi fu cominciato il lavoro di scavo all'aria compressa, e quello murario all'aria libera. Le pareti del cassone erano rialzate a misura che progrediva l'affondamento, agevolato dal sovraccarico della muratura, la quale veniva eseguita uniformemente, onde l'affondamento procedesse del pari, e per evitare distacchi nel masso murario.

Al momento in cui il cassone fu per raggiungere il definitivo piano di appoggio, esso fu sovraccaricato di forti pesi, per non fargli subire oscillazioni al sopraggiungere dell'alta marea, che si eleva quivi di m. $0,50 \div 0,60$, ovvero a causa del moto ondoso del mare; evitando così qualunque scossa che potesse slogare la muratura interna.

Poggiato il cassone sul fondo spianato, le 18 camere di scavo furono riempite di calcestruzzo col metodo ordinario per consimili lavori pneumatici.

La platea del bacino, costruita all'asciutto al disopra del soffitto del cassone, ha la grossezza di m. 2,75: sicchè lo spessore totale del masso è di circa m. 7,30. Lo spessore medio delle fiancate è di m. 7,50 al piano di platea e m. 3,80 in cima.

Questo sistema, che in verità è costoso, è di sicura riuscita, semprechè lo si adoperi in località dove lo specchio d'acqua non sia agitato (*). Nondimeno alcuni costruttori, tra cui l'Ing. Barret, esprimevano il dubbio che il riempimento di muratura nella camera di lavoro non potesse riescire dappertutto egualmente compatto rispetto alla grande estensione del bacino; per cui sotto le diverse pressioni (bacino carico e scarico), il masso murario costituente la platea del bacino, potrebbe soffrirne avaria (**).

È bene notare che in sostanza questa grandiosa applicazione è un

(*) Si riscontri all'oggetto il Biadego—*Fondazioni ad aria compressa*. Appendice alla Memoria VII, § 10. (Lettera dell'Ing. sig. Barret diretta ai signori Tardy e Bench di Savona).

(**) Tali dubbii furono personalmente espressi dal chiarissimo Ing. Barret al Prof. Bruno nel 1878.

importantissimo miglioramento degli antichi cassoni di legno per la costruzione dei bacini nel Mediterraneo, dei quali il primo saggio fu fatto dal celebre Ing. Groignard precisamente nel porto di Tolone nel 1830, in sostituzione al metodo delle ture con gli esaurimenti. Ma di poi, a causa dei grandi mezzi e delle cautele occorrenti a condurre a termine il lavoro, nonchè della difficile preparazione del cassone, fu abbandonato tal sistema, e si ricorse su più vasta scala alle gettate di calcestruzzo (*).

Il *cassone Hersent* in sostanza non affermarsi generalmente nè il tipo più perfetto, nè quello più economico che l'arte del costruire in acqua abbia escogitato: il progresso ultimo, che pure non manca di inconvenienti, è segnalato dai cassoni galleggianti, di cui si dirà più oltre.

b) Ponte a Queensferry sul golfo di Forth.

Questo colossale ponte di ferro, costruito di recente in Iscozia (1883-1890), con progetto degli Ingegneri Fowler e Baker, dalla Società Tancred, Arrol e Comp. di Glasgow, che concesse in subappalto i soli lavori delle fondazioni pneumatiche all'Impresa specialista Couvreur, Hersent e Coisseau, è stato impiantato sul golfo di Forth, coladdove questo presenta una strozzatura, riducendosi alla larghezza di circa un chilometro e mezzo: venendo suddiviso quivi in due bracci da un'emergenza di roccia basaltica, che forma l'isolotto Inch-Garvie. Tale ponte unisce South-Queensferry a Fife.

Il suolo in quelle località è formato di rocce basaltiche schistose, apparenti nelle due sponde nord e sud, che, avanzandosi in mare, si nascondono prima sotto un alto strato di fanghiglia, e quindi sotto uno strato di puddinga argillosa tenacissima, tipica in Inghilterra, denominata *boulder clay*: emergono di nuovo tali rocce in mezzo al mare, costituendo lo scoglio sunnominato.

Le cinque pile del viadotto di accesso sulla sponda nord e le prime sei di quello sulla sponda sud, per essere la roccia quivi superiore al pelo d'acqua dell'alta marea, furono costruite senza difficoltà di sorta. Il corpo murario è ad *opus incertum* di pietrame basaltico con malta di cemento Portland, alternato con filari orizzontali di muratura di massi regolari squadri: in giro poi corre per tutta l'altezza della fabbrica un rivestimento di conci di granito, di grossezza media m. 0,60. Le altre quattro pile del viadotto sud (di struttura simile), essendo la roccia sottoposta alla bassa marea, furono costrutte con l'uso delle usuali ture (*batardeaux*), formate da due palificate messe a distanza tra loro di m. 1,83 con riempimento interposto di argilla.

(*) Così per il bacino di Napoli, costruito nel 1853, il cassone ad opera quasi compiuta fu avariato, ed affondò: il lavoro fu quindi continuato mediante le ture.

L'ultima tura occorsa per la pila verso South-Queensferry (di m. 38,40×22,86), essendo molto esposta all'azione del mare, perchè distante dal lido di oltre m. 300, fu costruita con corroboramento di catene di ferro, sbadacchi ed urtanti di legname. La fondazione di questa pila poggia, a m. 10,66 sotto il pelo di alta marea, sul cenato conglomerato di argilla ghiaiosa durissima (*boulder clay*).

Le quattro pile del pilone Fife (a nord) furono costruite con i suindicati mezzi a secco, o con ture.

Pel pilone sullo scoglio di Inch-Garvie due pile furono eseguite all'asciutto: per le altre due, essendo la roccia sott'acqua a molta profondità, si ricorse al mezzo dei cassoni pneumatici.

I due cassoni furono costrutti a forma di cono tronco, a basi circolari: di altezza m. 7,31, e di diametri, m. 21,34 in base e m. 18,29 al ciglio superiore. Essi furono zavorrati con calcestruzzo, per impedire che l'alta marea, che raggiunge quivi il medio dislivello di m. 5,50, li sollevasse dal fondo. La roccia, sulla quale i cassoni dovevano poggiare, essendo a superficie inclinata, occorse spianarla con le mine, adoprandosi la *tonite* che genera poco fumo; e durante il lavoro, affinchè il coltello poggiasse in tutto il suo contorno, gli fu creato un appoggio temporaneo mediante sacchi ripieni di sabbia. Spianato e reso orizzontale il fondo roccioso, furono riempite di calcestruzzo le camere di lavoro e la rimanente altezza al di sopra, fino a m. 0,30 sul livello di bassa marea.

Pel pilone Queensferry (sud) tutte e quattro le pile furono costruite con cassoni pneumatici di forma cilindrica (di diametro m. 21,34) per un'altezza variabile da m. 8,50 a m. 13,10, in ragione della profondità a cui essi dovevansi impiantare: e nella rimanente altezza di m. 5,49, furono continuati a forma di cono tronco, col diametro superiore di m. 18,29.

Tali cassoni (v. fig. 32) vennero foggiate con due pareti concentriche, robustate e tra loro collegate da opportuni montanti e sbadacchi orizzontali ed obliqui. Lo spazio anulare, diviso in segmenti da diaframmi verticali, fu riempito man mano di calcestruzzo. Al disopra della parete conica fu innalzato un terzo tronco di cassone cilindrico, di altezza m. 11 circa, ed esso servi per la costruzione della muratura all'asciutto: quest'ultima parte cilindrica era smontabile.

Per ogni cassone vi erano n.º 3 pozzi di diametro m. 0,914, che scendevano ciascuno da una camera d'equilibrio: uno di essi era destinato pel transito degli operai, gli altri due pel passaggio dei materiali. La melma veniva estratta da n.º 3 tubi di minori dimensioni.

Come a principio si è accennato, al disotto di un grosso letto di fanghiglia (di altezza m. 4,00 ÷ 6,00) si rinvenne il banco compatto di argilla mista a ciottoli tondi, il quale presentava tale durezza, che si

dovette romperlo con speciale ordigno, mosso dalla forza idraulica; e ciò nondimeno l'avanzamento medio giornaliero nell'approfondare il cassone fu di centimetri 20 soltanto.

Per la diversa profondità a cui giace la roccia basaltica, i quattro cassoni poggiano a quote differenti: la minima è di m. —21,60, la massima di m. —27,15.

La massima pressione dell'aria nella camera di lavoro fu di circa n.º 3 atmosfere; epperò a causa di questa forte pressione, ed anche per invasione di gas deleterii che si accumulavano nel cassone sviluppatosi dal banco di argilla, molti operai soffrirono, nonostante che ogni tre ore se ne mutasse la squadra (*).

Nei descritti cassoni fu adoperata la luce elettrica.

2.º — Cassone smontabile — tipo Klein-Schmoll-Gaertner.

Sebbene al Capo III—1º (§ *d*) parlando della camera di caricamento abbiamo fatto un rapido cenno di alcuni tipi di cassoni con tale camera a pareti smontabili, pure ritorniamo sull'argomento, dando la descrizione di un tipo di *cassone smontabile*, che, pel modo com'è stato concepito, eliminando molti degl'inconvenienti già enumerati, merita d'essere particolarmente additato in questo capitolo di tipi speciali.

a) Descrizione.

I costruttori signori fratelli *Klein*, *A. Schmoll* ed *E. Gaertner* di Vienna nel 1883-84 idearono e costruirono un cassone con camera superiore a pareti smontabili, allo scopo di utilizzarne tutto il materiale metallico. Tale sistema (descritto dallo stesso signor *A. Schmoll* nel *Technische Blätter*) consiste nell'inviluppo della camera di caricamento (v. fig. 37) costituito da zone orizzontali di lamiere incastrate col lembo inferiore della prima zona in una scanalatura *b* formata da due ferri piatti, i quali sono inchiodati e sporgono sull'orlo superiore del soffitto della camera di scavo. La detta prima zona *m*, *m'*, *m''*... dell'inviluppo è tenuta nell'incastro (che è reso stagno mercè una guernizione speciale, come ad esempio una corda di caucciù ben compressa) mediante stecche metalliche *l*, le quali, inchiodate all'inviluppo superiore, assicurano tale inviluppo alla sottostante parete fissa del cassone, a cui sono fermate mediante bulloni *g*.

Le zone superiori *n*, *n'*, *n''*... che si sovrappongono alla prima, sono inchiodate l'una all'altra generalmente con ferri piatti, in ma-

(*) Per altri particolari e notizie consultisi il Biadego: *Fondazioni ad aria compressa*. Cap. II, § 13 — ed il Sacheri: *Ingegneria Civile*. Vol. XVI, n. 6.º