

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 profundato a 22 metri sotto il livello di bassa marea (\*\*).

Vale intanto la pena di fare particolare cenno delle fondazioni costrutte pei 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 varii 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

niera cioè da non avere risalti, specialmente alla faccia esterna: ciò semprechè la pressione a cui esse van soggette non sia tale da richiedere speciali nervature od armature di rinforzo, le quali possono venire ad ambo le facce, o ad una di esse soltanto.

In ciascuna zona le lamiere hanno anche dei giunti verticali, i quali alternatamente sono costrutti di tipo smontabile. Tutti i giunti per altro, sia cioè orizzontali, che verticali, vengon muniti di apposita guernizione impermeabile, come, ad esempio, di strisce di tela imbevute di minio.

I giunti smontabili *o* sono costituiti ciascuno da un ferro speciale *p* sagomato quasi ad  $\cup$  a pareti un po' divergenti, il quale risalta all'esterno dell'inviluppo come una nervatura: il suo estremo inferiore è fermato alla camera di scavo mediante una stecca, similmente come si è detto per le lamiere. In tal ferro sagomato vengono ripiegati i bordi verticali di due lamiere consecutive, i quali sono tenuti strettamente alle pareti inclinate di quello, per l'azione di una serie di piccoli dadi *v* a forma di coni tronchi di base ellittica. Questi dadi sono inchiodati al ferro speciale, ed hanno ciascuno un'appendice *u* a braccio di leva con arpione che va ad impegnarsi in apposito bullone *w* di un tirante verticale *f* di ferro, restando così in posizione orizzontale; per cui essi funzionano da cunei contro i suddetti bordi delle lamiere.

Prima dell'estrazione dell'inviluppo è d'uopo sbollonare le stecche dei ferri sagomati, contemporaneamente a quelle delle lamiere: se poi si vogliono rendere liberi i giunti verticali, bisogna per ognuno di essi sollevare il rispettivo tirante *f*. Ciò facendo, la serie di leve uncinata *u* girando un po' verso l'alto, fa girare i rispettivi dadi *v*, che per la loro forma ellittica cessano dal comprimere le ripiegature delle lamiere contro le facce del ferro sagomato *p*; e le lamiere così son rese indipendenti tra loro, e possono di conseguenza essere separatamente estratte.

Terminato l'affondamento pneumatico, prima che la camera di lavoro sia del tutto riempita di smalto o di muratura—nella quale sonosi previamente lasciati dei cassonetti *h* al sito dei bulloni delle stecche—questi vengon rimossi, ed i relativi fori vengon chiusi immediatamente con tappi di legno dolce o di sughero, per impedire perdita d'aria compressa od invasione d'acqua. L'inviluppo metallico rimane così libero per essere estratto dall'alto, la quale operazione dev'esser fatta per mezzo di martinetti agenti contemporaneamente.

La resistenza d'attrito nell'estrazione dell'inviluppo può ritenersi in media metà circa di quella da vincersi per affondare un cassone, dato che l'inviluppo sia di lamiera. Contrariamente poi a ciò che avverasi nelle manovre di affondamento, tale resistenza d'attrito per unità di superficie di fodera da estrarsi, in eguali strati di ter-

reno, diminuisce col diminuire la profondità: il che non distrugge, se ben si riflette, anzi conferma le nostre osservazioni fatte al Capo II sulla resistenza unitaria d'attrito in rapporto all'affondamento del cassone.

**b) Considerazioni economiche.**

In quanto alla convenienza economica degl'inviluppi amovibili, stralciamo dalla succitata descrizione dell'ing. Schmoll le seguenti particolarità relative al costo, tenendo conto del reimpiego del materiale:

« Nella presupposizione che le piastre complementari (\*) diventino fuori d'uso dopo d'averle impiegate per n.º 4 volte, e che tutte le altre parti componenti l'inviluppo estraibile della fondazione lo diventino dopo di averle adoperate per n.º 10 volte, e rappresentino ancora  $\frac{1}{6}$  del valore primitivo; il costo di un simile inviluppo amovibile, in base ai risultati dell'esperienza avuti nella fondazione di alcune pile (\*\*) ammonta solo al 40 % di quello di un inviluppo della medesima grandezza restante fisso nel terreno, e del peso di circa kg. 41 per m.q., come nelle antiche costruzioni, con lamiere di  $\frac{m}{m}$  4 di spessore e con nervature orizzontali a mezzo di ferri ad angolo del peso di kg. 6 al metro corrente.

« Sebbene il peso di questo inviluppo mobile (circa kg. 64 per m. q.) superi di circa il 50 % quello del suaccennato inviluppo fisso, e sebbene il costo di finimento per un quintale d'inviluppo mobile sia presso a poco del 33 % più caro che quello per un quintale d'inviluppo fisso, escluse per entrambi le montature; pure l'economia ottenuta con l'impiego dell'inviluppo mobile sale ancora al 60 % del costo per metro quadrato dell'inviluppo secondo l'antico sistema, montatura inclusa.

« Il costo per metro quadrato d'inviluppo estraibile si può suddividere nel seguente modo:

« Quota d'ammortizzazione per le parti di ferro componenti l'inviluppo . . . . .	44,00 %
« Montatura, comprese le guarnizioni . . . . .	16,50 »
« Tramezza di legno, compresa la montatura e la lubrificazione . . . . .	9,50 »
« Estrazione, compreso il deterioramento del materiale, riparazioni, posa in opera e toglimento delle armature.	24,00 »
« Deprezamento e manutenzione dei materiali occorrenti all'estrazione . . . . .	3,50 »
« Compenso e spese diverse. . . . .	2,50 »
	100,00.
	« Totale . . . . .

(\*) Le piastre cioè di rimpiazzo o di ricambio.

(\*\*) Quelle pei due ponti sul piccolo e grande Raab presso Sawar in Ungheria.

I pregi speciali del sistema lo stesso Schmoll li riassume così. Il relativo piccolo peso e quindi il tenue costo: la forma maneggevole delle singole lastre e la loro rigidità, ossia la loro capacità a resistere alle inflessioni durante il carico e lo scarico: la data possibilità di una pronta montatura durante l'affondamento pneumatico, e ciò a causa delle serie orizzontali di lamiera di un metro di altezza, ed al bisogno anche di altezza minore: la possibilità di ottenere una tura, ossia un involuppo a tenuta d'acqua: l'unione orizzontale e longitudinale di tutte le piastre e dei singoli scompartimenti fra loro: ed infine la facilità di montatura e di estrazione dell'involuppo.

Riguardo all'economia, che può valutarsi a circa lire 10 a m.q. d'involuppo estraibile, essa è realizzabile solamente se, come si è detto, lo stesso materiale si possa adoperare circa n.º 10 volte, e se si abbia occasione e tempo disponibile per eseguire le fondazioni l'una di seguito all'altra, e non già contemporaneamente.

Nondimeno resta sempre all'involuppo fisso il vantaggio della maggiore sicurezza per le fondazioni, come già s'è cennato altrove; garantendo esso la muratura fresca, e riparandola dall'effetto delle acque correnti.

### 3.º—Cassoni galleggianti.

#### a) Tipi primitivi.

È opportuno, per completare la rassegna fatta dei diversi tipi di cassoni, tenere qui parola anche dei *cassoni amovibili* o *galleggianti* (*caissons flottants*), i quali permettono di costruire sott'acqua mediante l'aria compressa. Tali cassoni, mentre costituiscono un'altra applicazione alle fondazioni subacquee, formano in loro stessi un progresso della primitiva *campana da palombaro*, già perfezionata dall'Halley; ed infatti essi possono servire al ricovero del marangone per eseguire qualsiasi esplorazione, o per fare un lavoro di salvataggio, od un lavoro manuale. Nel caso, per esempio, di escavazioni di dure rocce, meglio che con le semplici campane, col cassone galleggiante può farsi lo scavo, preparare le mine, rimuovere il materiale, ed eseguire così qualsiasi altra operazione.

Tra i sistemi più recenti e più sicuri, indichiamo quelli riportati nelle due figure 33 e 34. Le parti che compongono essenzialmente l'apparecchio del primo, sono: un cassone cilindrico  $A''$  di lamiera di ferro di spessore  $\frac{m}{m}$  12, avente m. 4,00 di diametro e l'altezza di m. 2,20, che contiene una camera  $A'$  di sezione triangolare, nell'interno della quale s'introduce dell'acqua o dell'aria, secondo che la campana debba affondare od emergere. La cassa è sormontata da un tubo  $C$  di m. 1,00 di diametro e m. 6,00 di altezza, all'estremità del quale, fuori acqua, sono aggiunte due camere cilindriche  $B$ , di

cui una funziona come camera d'aria, e permette di far uscire i materiali e gli operai senza interrompere il lavoro: la camera *A* riceve luce per mezzo di n.º 8 *hublots* fissi di centim. 20 di diametro.

La fig. 34 rappresenta poi un cassone che si può adattare a diverse profondità, per essere il pozzo di servizio formato da segmenti cilindrici scorrevoli a canocchiale.

Si comprende a prima vista come tali campane pneumatiche possano adoprarsi per esplorazioni e lavori subaquei.

Un altro cassone amovibile è quello ideato dall'Ing. *Kohler* (1880), mediante il quale possono eseguirsi lavori d'escavazione sott'acqua, oppure all'asciutto a grandi profondità. Esso consta di un cassone ordinario coi relativi pozzi di servizio per gli operai e per l'estrazione o l'introduzione dei materiali; con l'aggiunta però di un controdiagramma mobile a quello fisso che forma soffitto della camera di lavoro.

Il soffitto porta alcuni apparecchi a compressione d'aria o d'acqua, gli stantuffi dei quali fanno discendere il controdiagramma che ad essi è affidato. In tal modo si può comprimere il materiale introdotto nella camera di lavoro, e sollevare benanche il cassone per estrarlo dal sito in cui trovasi profondato.

Quest'apparecchio si presta utilmente pei lavori di garentia alle arginature fluviali, vale a dire per intercettare con diaframmi di terre impermeabili gli strati permeabili sostanti alle arginature ed alle golene dei fiumi (\*).

#### *b) Cassone amovibile Zschokke e Terrier.*

Una delle più recenti applicazioni è quella del cassone adoperato dai signori *Zschokke* e *Terrier* per la sistemazione del fondo dell'avamposto commerciale di Cherbourg, e pei lavori dei moli al nuovo porto della Pallice a La-Rochelle (1883): — essa segna il maggiore perfezionamento dei cassoni galleggianti, finora raggiunto.

Le dimensioni del detto cassone (v. fig. 35) sono di m. 10,00 × 22,00 in pianta, e m. 3,80 in altezza. Esso è diviso in due parti da un soffitto metallico di lamiera di spessore  $\frac{m}{m}$  6: lo scompartimento inferiore forma la camera di lavoro, di altezza m. 1,80, e quello superiore, chiuso in alto da un secondo soffitto metallico detto *ponte*, di  $\frac{m}{m}$  6 di spessore, forma come una cassa stagna, che serve per far galleggiare o per zavorrare il cassone, a seconda che questa è ripiena di

---

(\*) Nelle *Fondazioni pneumatiche* del Pozzi (Cap. III, § 12), a proposito delle invenzioni del Kohler, oltre alla descrizione di questo tipo di cassone amovibile, è riportata la descrizione di un nuovo apparecchio elevatore degli sterri e di una tura metallica smontabile.

aria, ovvero di acqua. Tale scompartimento vien chiamato perciò *camera di galleggiamento o di equilibrio*.

I due soffitti son collegati tra loro, e ben robustati da grosse travi a traliccio di m. 2,00 di altezza, distanti tra di loro per m. 1,00.

Le pareti della camera di lavoro, di lamiera di ferro da  $\frac{m}{m}$  8, sono rafforzate da montanti e mensoloni di ferro ad esse collegati ed alle travi del soffitto. Il lembo inferiore del cassone è munito di coltello di acciaio di  $\frac{m}{m}$  200  $\times$  25. La camera di galleggiamento è suddivisa da tramezzi stagni, di lamiera da  $\frac{m}{m}$  4, in n.º 6 scompartimenti, i quali, a mezzo di portelle a tenuta d'acqua, di cui le pareti sono munite, possono essere messi in comunicazione tra loro, ovvero separati.

La camera di lavoro comunica con le camere ad aria per n.º 4 pozzi di servizio tra loro indipendenti, terminante ciascuno in cima con una di dette camere ad aria: due di essi, di diametro m. 0,70, muniti di betoniere, servono al passaggio degli operai ed all'introduzione del calcestruzzo; altri due di diametro m. 1,05 servono per la manovra delle benne, che sono mosse da verricelli posti sul cielo della corrispondente camera ad aria, i quali a loro volta possono essere animati dalla forza pneumatica. A livello delle camere ad aria, che si trovano alte per m. 11,00 sul lembo inferiore del cassone, cammina una piattaforma di servizio, che è unita al cassone sottostante con armaggio a traliccio di ferro, e sulla quale sonovi dei verricelli fissi, serventi a manovrare le catene per l'ancoraggio del cassone.

La camera di galleggiamento, a mezzo di robinetti e valvole, può essere messa in comunicazione con la sottostante camera di lavoro, ovvero con l'esterno: le valvole vengono manovrate dalla piattaforma di servizio. A prescindere dal corpo d'acqua che s'introduce allorché si vuole zavorrare od affondare il cassone, si aggiunge un sovraccarico mobile, costituito da salmoni o sacchetti ripieni di ghisa, che vengono poggiati sul ponte della camera di galleggiamento.

Inoltre sul soffitto metallico della camera di lavoro, non che nel vuoto tra i mensoloni, si costruisce un sovraccarico permanente di muratura, che serve all'equilibrio stabile del cassone, col portarne cioè più in basso il baricentro.

Il peso proprio di tutto l'apparecchio del descritto cassone è di . . . . . tonn. 146  
il sovraccarico fisso di muratura . . . . . » 260  
il sovraccarico mobile dei salmoni di ghisa. . . . . » 230

Peso totale. . . . . tonn. 636

Nell'interno della camera di lavoro a mezzo di robusti sostegni conici di ferro, terminati da madreviti di bronzo, e fissi alla trava-

tura del soffitto, vi sono n.º 24 verrini (*crics*) con gambi di acciaio foggiate a viti, di diametro  $\frac{m}{m}$  75 (oltre lo spessore del verme): la parte inferiore del gambo è unita ad un piatto di ghisa di m. 0,60×0,60. Ogni verrino vien girato da una leva di legno, per modo che il piatto possa abbassarsi od alzarsi, secondo i casi. I piatti dei verrini si fanno poggiare sulla muratura che si costruisce nell'interno del cassone: a misura quindi che quella si eleva, vengono manovrati i verrini nell'interno stesso della camera di lavoro. Il carico trasmesso dai verrini alla muratura, pel numero e per la disposizione di essi, non supera kg. 6 per centimetro quadrato.

Data questa sommaria descrizione dell'apparecchio, è facile intendere come ordinariamente si esegue il lavoro nella camera inferiore.—Si comincia per nettare e spianare il piano stabile di posa del manufatto a costruirsi, indi si eleva un primo letto di fabbrica di spessore m. 0,80 all'incirca: manovrando i verrini, si solleva di m. 0,40 il cassone, facendo poggiare i piatti sulla muratura eseguita; per il che si adoprano anche dei cunei di legno, i quali servono di rinforzo, allorchè, elevandosi la muratura, si manovrano parzialmente i verrini. Gli strati di fabbrica vengono eseguiti di m. 0,40 di spessore ciascuno; e quindi il cassone si eleva man mano di eguale altezza, fino a che, raggiunto il limite corrispondente alla profondità di galleggiamento, si aspetta la fase di alta marea per condurlo ed ormeggiarlo in altro sito, dove bisogna continuare o fare altra opera di fondazione (\*).

I lavori pei moli al porto della Pallice procedettero nel seguente modo. Il cassone veniva trasportato al sito del lavoro, dove con forti catene era affidato a n.º 6 grandi boe d'ormeggio, zavorrandolo con un carico d'acqua nella camera di galleggiamento e con un sovraccarico di ghisa di tonn. 230, come già si è detto. Spinta quindi l'aria compressa nella camera di lavoro, vi discendevano gli operai, i quali cominciavano per spazzare il fondo roccioso della melma, e scavavano in seguito il primo strato di cappellaccio che si presentava tutto disgregato e fenduto. Scoperta la roccia resistente, si procedeva all'esecuzione del masso murario con malta di cemento Portland, a strati, siccome si è accennato nella precedente descrizione generica, fino a giungere con la muratura alla quota di m. 1,20÷1,50 sopra le basse maree. Si profittava poi dell'alta marea (quota m. 5 circa) per togliere il cassone e trasportarlo al sito accosto per l'esecuzione del successivo masso.

S'intercettava a tal uopo la comunicazione dell'aria compressa, e si aprivano invece le valvole di comunicazione tra la camera di

---

(\*) Leggasi l'Oppermann: *Nouvelles Annales de la Construction*. (Paris) IV Série, Tome 7. — Avril 1890.

lavoro e quella di galleggiamento, chiudendosi contemporaneamente la valvola d'uscita di quest'ultima camera verso l'esterno, e togliendosi nel contempo il sovraccarico di ghisa. L'acqua penetrava nella camera di lavoro per la mancanza quivi dell'aria compressa, sfuggita da questa nella camera superiore, ed il sopraggiungere dell'alta marea permetteva al cassone di elevarsi, e di potere quindi essere rimosso, essendosi in precedenza chiuse le valvole di fondo della camera d'equilibrio, per farla funzionare da galleggiante.

Nei cassoni lavoravano, con turno di 6 ore, due squadre, ciascuna di n.º 25 operai con caposquadra ed assistente.—Per ogni giornata di lavoro si scavarono in media m.c. 29,667 di roccia pel molo nord, e m. c. 18,563 pel molo sud: si eseguirono similmente m.c. 41,432 di muratura al giorno pel molo nord, e m.c. 36,838 per quello sud. Si costruirono in tutto n.º 20 blocchi di fondazione, di cui n.º 15 pel solo molo sud.—Il volume medio della roccia scavata per ciascuna fondazione fu di m.c. 205: quello della muratura, di m.c. 777.

Il prezzo delle murature eseguite, dal piano variabile di fondazione (m.  $0,71 \div 5,35$  sotto lo zero delle carte marine) a m. 1,50 sul livello delle basse maree, cioè in parte all'aria compressa ed in parte all'aria libera, fu di L. 70,49 a m.c., escluso però il costo per la fornitura del cemento Portland, che fu appaltata a parte.

Con simili sistemi di cassoni si è proceduto nel 1888 all'esecuzione dei due bacini di carenaggio pel porto di Genova, dalla medesima Ditta Zschokke e Terrier. È stata però quivi apportata un'importante innovazione, col sopprimere cioè il sovraccarico mobile di ghisa, e munire l'apparecchio di n.º 6 recipienti contenenti acqua, detti *pozzi regolatori*; nei quali potendosi variare, a seconda il bisogno, la quantità d'acqua, si poteva di conseguenza alzare od abbassare il cassone a piacimento, senza ricorrere ai verrini (\*).

#### 4.º — Cassoni per gallerie subacquee.

Un'altra importante applicazione del processo pneumatico è quella della costruzione di sifoni o gallerie subacquee, allorchè i terreni da perforare sono permeabili, per cui le infiltrazioni od invasioni d'acqua non si possono altrimenti combattere. Per avere un'idea del processo che si tiene in simili circostanze, citiamo due esempi di opere recentissime, quali sono quella del sifone di Clichy-Asnières presso Parigi, e l'altra della galleria Blackwall presso Londra.

---

(\*) Pei particolari del processo del lavoro, si consulti la Memoria fattane dalla medesima Impresa (Ed. Forzani e Comp., tipografi del Senato. — Roma, 1889).

a) Sifone di Clichy-Asnières.

Tra le opere di bonificazione della città di Parigi va annoverata quella importantissima dell'acquedotto di Achères, il quale serve ad irrigare i campi di Achères con la massima parte delle acque di rifiuto della capitale, finora versate nella Senna.

Il primo tronco di quest'Acquedotto è costituito dal sifone di Clichy-Asnières, costruito sotto il letto della Senna, per non intercettare quivi la navigazione del fiume.

Il braccio corto del sifone è un pozzo verticale di diametro esterno m. 3,50 e profondo m. 24,00 comunicante con l'officina di Clichy (riva destra). Il ramo lungo è una condotta forzata di ghisa, di diametro utile m. 2,30 e di lunghezza m. 463,00, eseguita a m. 15,80 sotto il livello del fiume. Planimetricamente il tracciato è formato da due allineamenti rettilinei, raccordati tra loro da una curva di m. 100 di raggio: altimetricamente un primo tratto ha il pendio del 7 ‰, ed il tratto successivo verso Asnières (sotto la riva sinistra del fiume) va con 1'80 ‰.

Il collettore principale sbocca nell'officina di Clichy: le macchine elevano le acque nel pozzo di carico, ed il sifone (della portata di m.c. 9,75 a 1") le fa pervenire all'acquedotto libero che gli fa seguito.

Il rivestimento del pozzo è formato da anelli di ghisa di spessore  $\frac{m}{m}$  30, alti m. 1,00, tra loro inchiodati: quello della galleria è formato da anelli di ghisa di spessore  $\frac{m}{m}$  25 e di lunghezza m. 0,50, parimenti congiunti con chiavarde, componendosi ogni anello di n.º 6 elementi cilindrici (di cui uno più piccolo forma chiave) con nervature interne per la loro unione. Gli sporti però dei collaretti e delle nervature sono stati poi tutti livellati da uno spesso intonaco di cemento, per modo che la superficie interna del sifone è perfettamente continua e liscia, con diametro netto di m. 2,30.

Questa galleria è stata eseguita col sistema pneumatico, il cui armaggio funzionante da cassone (*bouclier*) si avanzava quasi orizzontalmente; epperò non potendo in tal caso giovare la forza della gravità all'avanzarsi di quello, si è dovuto ricorrere all'azione di alcune presse idrauliche, come si dirà.

Questa specie di cassone *a* (v. fig. 38), era di forma cilindrica e di lamiera, con diametro di m. 2,56: un poco maggiore cioè del diametro esterno degli anelli *b* di rivestimento della galleria. Esso era munito di un coltello d'acciaio *c*, ed aveva nel suo fondo una portella *d* pel passaggio degli operai che lavoravano al taglio del terreno. Le presse idrauliche *p* in n.º di 5, fissate sopra l'ultimo anello messo a posto nella galleria, agivano contro il fondo del cassone, spingendolo in avanti. A misura che il cassone s'avanzava, venivano armati gli anelli della galleria, i quali si sviluppavano in tal modo a guisa di un tubo da cannocchiale.

La camera d'equilibrio era posta a m. 35 dall'origine del sifone, ed assicurata allo stesso: essa era formata da un parallelepipedo di cemento, vuoto nell'interno, e chiuso alle due estremità da robuste portelle di lamiera di  $\frac{m}{m}$  30 di spessore, giacchè l'aria era compressa a n.º 3 atmosfere.

I terreni incontrati lungo il percorso sono stati varii: marne, calcare con larghi crepacci ripieni di terre alluvionali, sabbie verdi e gialle, conglomerati e grès silicei. Lo sterro veniva dai manovali trasportato in piccoli vagoni alla base del pozzo, dove era innalzato da montacarichi. Al ritorno, i vagonetti portavano sul posto le piastre degli anelli e le chiavarde per armarli.

L'avanzarsi del cassone lasciava un vuoto di circa 3 centimetri attorno al rivestimento della galleria, essendo quello, come si è detto, di diametro un po' maggiore degli anelli del sifone. Tale vuoto veniva riempito di malta, a mo' di cappa, che, iniettata da un serbatoio speciale con la forza dell'aria, compressa a n.º 3 fino a 4 atmosfere, per mezzo di un tubo flessibile munito di lancia, era introdotta in alcuni buchi praticati al centro di ogni piastra. Questa iniezione procedeva dalle piastre inferiori alle superiori, e terminava alla chiave. Per impedire poi che la malta non sfuggisse verso l'avanzamento del lavoro, di tratto in tratto esteriormente alla galleria si costruivano delle piccole corone di muratura, formanti come delle briglie circolari.

L'avanzamento massimo della galleria è stato di m. 2,50 in 24 ore.

Questi lavori, iniziati nell'ottobre del 1892, e terminati nell'ottobre del 1894, sono stati eseguiti dall'Ing. Berlier, sotto la direzione dell'Ing. Capo sig. Bechmann e del sig. Launay, ingegnere del Risamento di Parigi.

#### **b) Galleria Blackwal.**

La nuova via che da Kent dovrà menare a Middlesex, passa in sifone sotto il Tamigi, e servirà di transito per vetture e pedoni. I lavori, iniziati nel 1892 dai signori Pearson, non sono stati ancora espletati.

L'opera consta di due tratti in trincea, ai due estremi, e di un tratto in galleria intermedio; ma di questo tratto intermedio solo la parte centrale si costruisce propriamente in traforo; giacchè i rimanenti tratti di galleria sono stati eseguiti mediante anelli di fabbrica in trincea, con struttura di mattoni posti a cemento, smaltati nel paramento visto. Questi anelli sono stati garentiti esternamente da uno strato di asfalto di spessore centimetri 3, e poscia sono stati ricoperti di terra.

La lunghezza di tutto il manufatto è poco meno di 2 chilometri: il tratto scavato in traforo coi cassoni ad aria compressa (per scacciarne l'acqua invadente) è di circa m. 800. Nel totale percorso vi

sono dei leggeri 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 imballonati 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