

## CAPO IV.

### **Accessorii.**

#### **I.<sup>o</sup>—Illuminazione nel cassone.**

##### **a) Generalità.**

Varii esperimenti si son fatti per trovare la più adatta illuminazione nei cassoni, adoperando olii, stearine e gas. Gl'idrocarburi però in presenza dell'aria compressa non bruciano completamente: la decomposizione ne è rapida bensì, ma il carbonio facilmente si volatilizza in particelle incombuste. Sicchè mentre da una parte non è viva l'intensità della luce, dall'altra il carbonio che senza bruciare si spande in gran quantità nell'ambiente — ch'è già alterato dalle esalazioni del terreno e dalla respirazione degli operai — danneggia la salute di costoro.

Allo stato attuale, la *luce elettrica ad incandescenza* è la più conveniente sotto ogni rapporto.

##### **b) Lampade ad olio.**

Con le lampade ad olio, che presentano gl'inconvenienti testè enumerati, si è sperimentato che ad una certa profondità (oltre i 20 metri) si rende difficile spegnere la fiamma, e questa facilmente si riaccende, se il lucignolo anche parzialmente rimanga in ignizione. In vista quindi di ciò, e della possibilità di un versamento fortuito dell'olio di qualche lampada sulle vesti degli operai, quelle si usano rarissimamente e con le massime cautele possibili.

Al ponte S. Luigi sul Mississippi, dove fu adottato in parte tal genere d'illuminazione, le lampade si facevano bruciare sotto un imbuto, a mo' di cappa, che comunicava con uno dei pozzi per mezzo di un piccolo tubo, il quale, munito di robinetto, dava all'occorrenza esito all'aria corrotta.

##### **c) Candele steariche.**

Le candele steariche, a preferenza di quelle ad olio ed anche di quelle a cera, alterano un po' meno l'aria, e danno una fiamma più viva; epperò sono state usate, e si usano tuttodì in varie circostanze. Si adottano grosse candele, ordinariamente di diametro circa 4 centimetri, ma con lucignolo sottile, giacchè l'aria compressa è molto più comburente dell'aria libera (\*): infatti, a parità di volumi, la prima è più ricca di ossigeno.

---

(\*) Alla pressione di oltre n° 3 atmosfere si è costatato che una candela si consuma in tempo quasi metà di quello necessario per consumarsi all'aria libera.

La deficienza di ventilazione però, e lo stato molto igrometrico dell'aria compressa (\*) trattengono i prodotti della combustione; per cui dal lato igienico le candele steariche presentano anch'esse degl'inconvenienti.

Si è cercato di liberare l'aria dal carbone incombusto, per mezzo di una corrente di vapore acqueo che, condensandosi in goccioline, fa depositare il nerofumo che trovasi in sospensione. Inoltre, ad ovviare la fuliggine ed il rapido consumo, si è praticato alcune volte (come nei cassoni per le fondazioni del ponte S. Luigi succitato) di isolare le candele, mettendole in globi di vetro, comunicanti mercè appositi tubi con l'aria esterna.

*d) Fiamme a gas.*

Si è ricorso anche all'adottamento della luce a gas, ma nemmeno questa ha dato buoni risultati, sia perchè è debole l'intensità della fiamma, per effetto dell'aria compressa, sia perchè riscalda e vizia molto l'ambiente. Naturalmente, il gas dev'essere immesso ad una pressione maggiore dell'aria nel cassone, il che costituisce un altro inconveniente, per gli apparecchi di compressione occorrenti (\*\*).

*e) Luce elettrica ad incandescenza.*

L'uso della luce elettrica ad incandescenza può affermarsi ora generalizzato, ed a buon dritto; giacchè con essa sono evitati tutti gl'inconvenienti indicati finora. La luce è chiara e viva, l'aria non si scalda, nè si altera, ed ogni pericolo d'incendio relativo agli operai può dirsi ovviato.

Così pel ponte sul Ticino, alle candele steariche si finì per sostituire le lampade elettriche ad incandescenza, tipo *Swan*, dell'intensità di otto candele. I fili di trasmissione, foderati da tessuto isolante, per maggior precauzione scendevano nella camera di equilibrio e nei pozzi entro tubi di caucciù, guidati da bottoni d'ebanite.

Simile sistema d'illuminazione si è tenuto pel ponte a Casalmaggiore sul Po e pel ponte Garibaldi a Roma sul Tevere.

Le camere d'equilibrio possono essere anch'esse rischiarate dalla luce elettrica; ma quasi sempre lo sono dalla luce esterna a mezzo di finestrini di cristallo spesso e resistente, detti *hublots*.

Così pel ponte ad Argenteuil sulla Senna la camera d'equilibrio

---

(\*) Invero allorchè si esce dalla camera d'equilibrio, pel raffreddamento che deriva dal rarefarsi dell'aria, il vapore si condensa in fitta nebbia; che anzi, per la stessa ragione della rarefazione, spesso il vapore si congela presso il robinetto di scarico.

(\*\*) Per il ponte tra New-York e Brooklin (Riviera dell'Est) fu adottata l'illuminazione *idro-ossigenica*; però si verificarono gl'istessi inconvenienti cennati per la luce a gas, per cui si dovette ricorrere all'illuminazione con candele.

era illuminata da n.º 6 di tali finestrini posti sul soffitto: pei ponti a Kehl ed a Piacenza essi erano formati a lenti convesse di centimetri 16 di diametro.

## 2.º — Breve cenno sui generatori e conduttori dell'aria compressa.

### a) Compressori.

Senza entrare nella descrizione dei varii tipi di *trombe ad aria* o *compressori* (*pompes à air, machines soufflantes*) adoperati per la produzione dell'aria compressa per fondazioni subacquee — cosa che esce dal campo costruttorio, ed entra in quello della meccanica —; basta accennare che un tipo molto usato in siddetto ufficio è il compressore pneumatico a tromba *Colladon*. Esso consta di un cilindro a quattro valvole (due per ciascun fondo del cilindro), con interno stantuffo, ad ogni corsa del quale funzionano le due valvole diametralmente opposte (v. fig. 30): l'una per l'aspirazione dell'aria, l'altra per lasciar passare al serbatoio, di cui si dirà, l'aria compressa.

Il cilindro è a doppia fodera, ed il gambo dello stantuffo è vuoto e congegnato internamente in maniera da permettere col suo moto di corsa, che un getto perenne di acqua fredda circoli nell'interno del meccanismo, per evitare così ch'esso si riscaldi troppo.

Per maggiori particolari leggasi il *Turazza — Lavori subacquei ad aria compressa* (Cap. IV, § 14 e 15), dove è riportata anche la calcolazione per tali compressori (\*).

---

(\*) Nel calcolo della ricerca della forza motrice e delle dimensioni da dare ai compressori, perchè si produca quel dato volume d'aria compressa ad ogni corsa di stantuffo, bisogna tener conto, oltrechè del volume della camera di lavoro e dei pozzi:

- 1) del volume delle camere d'estrazione e d'equilibrio;
- 2) del numero delle manovre da succedersi in un dato tempo;
- 3) del numero di operai addetti al lavoro interno;
- 4) del sistema d'illuminazione;
- 5) delle eventuali fughe d'aria attraverso le giunture dei varii pezzi del cassone e da sotto il coltello della camera di scavo.

Sicchè nella formula rappresentante il *volume d'aria unitario* (a 1") da mandarsi nel cassone durante il lavoro, debbono entrare tanti termini, quanti se ne sono ora enumerati; di cui tutti sono affetti da coefficienti dati dalla pratica esperienza.

Epperò, chiamando con  $V$  questo volume d'aria a 1", e con  $v_1, v_2$  e  $v_3$  i volumi relativi al consumo d'aria per le manovre della camera d'estrazione e di quella d'equilibrio, al consumo per la respirazione degli operai e combustione delle lampade, ed alle perdite d'aria attraverso le pareti dell'apparecchio; e dall'altra parte denotando con  $C$  e  $C'$  la cubatura delle camere d'estrazione e d'equilibrio,  $\alpha$  ed  $\alpha'$  i numeri relativi di volte che dette camere si aprono in un'ora:  $N$  ed  $N'$  il numero d'operai e quello delle lampade che stanno nell'apparecchio per fondazioni,  $\beta$  e  $\beta'$  i relativi volumi d'aria consumati in un'ora per respirazione e combustione:  $A$  l'area complessiva delle pareti del cassone,  $\gamma$  il coefficiente relativo alla perdita d'aria a

b) Serbatoi.

Siccome il consumo dell'aria compressa non è costante, per varie cause inerenti alle manovre, ed anche per eventuali perdite di aria nel cassone; e d'altra parte siccome i compressori danno costantemente nell'unità di tempo un certo volume d'aria compressa; ne consegue che se direttamente questi alimentassero il cassone, vi sarebbero continue oscillazioni di pressione non solo, ma si potrebbero facilmente avverare di serii inconvenienti nei momenti in cui, per le suesposte cause, fosse richiesto maggior consumo di aria compressa. Ecco perchè in quasi tutti gl'impianti per fondazioni sott'acqua si è adottato un serbatoio, posto tra il compressore ed il cassone.

Questo serbatoio, utile e necessario, se non del tutto indispensabile, serve quindi oltrechè ad equilibrare la pressione interna del cassone, anche ad immagazzinare, per così dire, un certo volume d'aria compressa; per cui esso nelle sue funzioni — simile al volano di una motrice — può dare in periodo di massimo consumo un certo volume d'aria compressa che non può al momento essere fornito direttamente dai compressori.

Per ben rispondere al suo funzionamento, chiaro si vede che il serbatoio deve avere una capacità relativamente grande. La pratica suggerisce che questa debba essere da tre a cinque volte la capacità delle camere d'estrazione e di equilibrio.

Tali serbatoi si costruiscono con lamiera di ferro, e di forma cilindrica: le pareti interne si spalmano di catrame d'un certo spessore, per garentirle dall'azione della ruggine. Sono essi muniti di valvola di sicurezza e di una valvola che si chiude contro lo sbocco del tubo di arrivo del compressore, e che serve a mantenere l'aria nel reci-

---

m.q. e per ora attraverso le pareti del cassone:  $n$  il numero d'atmosfere a cui va compressa l'aria nel cassone, si ha:

$$v_1 = \frac{1}{3600} (\alpha C + \alpha' C'), \quad v_2 = \frac{1}{3600n} (\beta N + \beta' N'), \quad v_3 = \frac{1}{3600} \gamma A.$$

In queste espressioni i simboli  $C, C', N, N', A$  son noti, i coefficienti  $\alpha$  ed  $\alpha'$  dipendono dalla disposizione delle manovre, i coefficienti  $\beta$  e  $\beta'$  sono dati dall'esperienza, ed il coefficiente  $\gamma$  dipende dalla più o meno perfetta unione delle lamiera del cassone (in generale  $\gamma = 0,05 \div 0,10$ ).

Si ha 
$$V = v_1 + v_2 + v_3 = \frac{1}{3600} (\alpha C + \alpha' C' + \frac{\beta N + \beta' N'}{n} + \gamma A).$$

Per un calcolo approssimato si può trascurare il termine  $\beta' N'$ , e ritenersi il coefficiente  $\beta = 60$ , ed i coefficienti  $\alpha = 12$ ,  $\alpha' = 3$  e  $\gamma = 0,075$ ; epperò risulta:

$$V = 0,0033C + 0,0008C' + \frac{0,0617}{n} N + 0,00002A.$$

piante, qualora il compressore, per qualsiasi possibile causa, cessasse dal funzionare.

c) **Tubi di condotta dell'aria.**

I tubi per la distribuzione dell'aria possono essere di ferro trafilato se di piccolo diametro, di ghisa se di diametro grande: se ne adoperano anche di caucciù ben foderati e robustati da ferro filato. Sieno i tubi di ghisa o di ferro, i gomiti si sogliono fare sempre con tronchi di tubi di caucciù.

I tubi che dal serbatoio vanno al cassone, si fanno generalmente sboccare nei pozzi o camini, al disotto delle camere d'equilibrio.

d) **Esempi illustrativi.**

1.<sup>o</sup>—*Ponte a Sesto Calende sul Ticino.* — Per evitare qualunque interruzione durante il lavoro, furono adoperati due compressori—indipendenti l'uno dall'altro—ciascuno animato da una motrice, e comunicante mediante tubolatura di ferro con le camere d'equilibrio. I compressori erano situati sulle caldaie delle motrici: le motrici erano semifisse, e della forza ciascuna di n.<sup>o</sup> 15 cavallivapore.

2.<sup>o</sup>—*Ponte a Casalmaggiore sul Po.* — Per la fondazione di una delle pile di questo ponte, a profondità maggiore di m. 12, si adoperarono quattro compressori: due a due animati da una motrice fissa, della forza di n.<sup>o</sup> 35 cavalli. Nello stesso tempo fu fondata un'altra pila a minore profondità, e per essa funzionò un sol compressore, con una motrice della forza di n.<sup>o</sup> 15 cavallivapore. La pressione massima dell'aria compressa fu di n.<sup>o</sup> 3 atmosfere.

3.<sup>o</sup>—*Ponte a Pontelagoscuro sul Po.* — Per ogni fondazione di pila fu adoperata una coppia di macchine soffianti del tipo *Cail*, ciascuna della forza di n.<sup>o</sup> 16 cavalli; giacchè con una sola macchina si poteva appena spingere lo scavo a 15 metri di profondità. Le macchine suddette erano in numero di quattro.

4.<sup>o</sup>—*Ponte a Mezzanacorti sul Po.* — I compressori erano animati da locomobili di n.<sup>o</sup> 16 cavalli di forza ognuna: vi erano per essi quattro locomobili, ma quasi sempre funzionavano due soltanto. Non essendovi un serbatoio d'aria, sui tubi di condotta dell'aria compressa vi erano appositi robinetti per regolarne la pressione.

Per ogni metro cubico d'aria compressa ad oltre n.<sup>o</sup> 2 atmosfere in media, si consumarono kg. 0,25 di carbone; per ogni metro cubico di scavo occorsero m.c. 83 circa di aria compressa.

Le benne erano mosse dalla forza dell'acqua compressa a n.<sup>o</sup> 10

atmosfera; e per tale manovra funzionavano due locomobili della potenza ognuna di n.º 8 cavalli-vapore: una serviva per l'estrazione dell'acqua, ed una per la compressione della stessa.

5.º—*Muraglioni del Tevere a Roma.*—Pei lavori di fondazione dei muraglioni al Tevere, sono stati adoperati dei compressori a due cilindri, animati da motrici della forza di n.º 25-35 cavalli l'una.

Ad un'atmosfera effettiva di pressione nel cassone, ciascun compressore forniva m. c. 150 d'aria compressa all'ora—occorrendo per tale produzione una forza di n.º 10 cavalli-vapore (\*).

e) **Effetti fisiologici dell'aria compressa: limite massimo di pressione dell'aria.**

L'aria compressa in generale nuoce alla salute degli operai, specialmente se costoro non sono di forte fibra; agendo essa più direttamente sugli organi della respirazione, dell'udito e della voce. Come è chiaro, quest'azione nociva è in relazione al grado di pressione, di temperatura e di umidità dell'aria, e principalmente poi al tempo durante il quale gli operai si trovano a lavorare in tale ambiente.

È da far notare che fino a profondità che richieda circa n.º 2 atmosfere effettive di pressione, gli operai possono resistere per tre o quattro ore di lavoro: a profondità maggiore — da non richiedere mai una pressione maggiore di n.º 4 atmosfere effettive — essi lavorano a disagio, e facilmente si ammalano (\*\*), con pericolo di morte; per quanto il lavoro si faccia con brevi e frequenti mute del personale (\*\*\*).

Pel ponte S. Luigi sul Mississipi (1869-71) l'aria fu compressa ad atmosfere 3,53 (come dai manometri), che, per gli attriti, nella camera di lavoro si riducevano a circa atmosfere 3,45: massima pressione che fin'oggi, in consimili lavori, si è mantenuta durante tutto il tempo dell'esecuzione dei medesimi. Di oltre 300 operai addetti ai lavori delle fondazioni, circa 30 caddero ammalati gravemente, ed alcuni di essi purtroppo morirono.

Disgrazie simili avvennero ai lavori del ponte sul Forth nella Scozia (1883-90), dove la fondazione più profonda raggiunse la quota di m. — 27,15 (\*\*\*\*), ed a quelli del ponte sul Lijm-Fjord nel Jutland (1875-76), dove la profondità massima fu di circa m. 36 sotto il livello del mare: quivi alla profondità di m. 33 soccombero l'ingegnere

(\*) Per altri particolari vedi Pozzi — *Fondazioni pneumatiche*. Cap. III, § 12.

(\*\*) Le malattie dovute all'azione diretta dell'aria compressa sono precipuamente: vertigini, sincopi, paralisi, scolo di sangue dalle orecchie, sordità e congestioni cerebrali o polmonari.

(\*\*\*) Si consulti il precitato Pozzi: — Capo III, § 16.

(\*\*\*\*) Quivi vi fu anche la ragione dello sviluppo dei gas carburati dovuti alla speciale materia argillosa (*boulder clay*) dello scavo.

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*.