

BREVI CENNI

Via Caffarella 38 Sen

SULLE

FONDAZIONI IDRAULICHE

DISSERTAZIONE

PRESENTATA ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

DA

GIOVANNI BATTISTA BONINO

da Spezia

per ottenere il diploma di Ingegnere civile laureato

NAPOLI, 1873

STABILIMENTO TIPOGRAFICO A. TRANI

Strada Medina, 24.

MONDAY, JUNE 1, 1903

DIRECTOR

THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

TO

THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

WASHINGTON, D. C.

THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

REPORT

ON THE PROGRESS OF THE ACADEMY

FOR THE YEAR 1902

AI MIEI CARI GENITORI
ED A' MIEI FRATELLI
PEGNO
D' AFFETTO E DI RICONOSCENZA

BREVI CENNI SULLE FONDAZIONI IDRAULICHE

Prima di parlare de' varii metodi di fondazioni idrauliche non credo inutile di dire qualche parola sulla composizione, presa, ed indurimento delle malte idrauliche.

Perchè le fondazioni idrauliche acquistino quella solidità necessaria a sorreggere muri che debbono innalzarsi al disopra del livello dell' acqua, bisogna che i materiali da costruzioni come le pietre e le malte che le tengono unite abbino proprietà tali da formare in breve tempo un tutto saldamente unito sott' acqua nella maniera stessa che si otterrebbe fuori d' acqua. Perciò se nelle costruzioni circondate dall' aria atmosferica s' adoprano calci aeree, nelle costruzioni i cui fondamenti saranno immersi s' adopereranno le calci idrauliche che induriscono più o meno presto sott' acqua secondo le proporzioni in cui varieranno i componenti le calci stesse. Si è sperimentato che le calci che più contengono silicato d' allumina, argilla, o la sola silice, fino a certi limiti, hanno proprietà d' indurirsi più celermente sott' acqua, infatti per proporzioni crescenti di silicato d' allumina e silice le calci diconsi *mediamente* idrauliche quelle al cui indurimento completo occorrono parecchi mesi, *idrauliche* semplicemente o *comuni* quelle che fanno presa dopo alcune settimane; *eminente* idrauliche quelle che acquistano la loro maggior durezza nel periodo di pochi giorni; infine ve n' hanno di quelle la cui presa succede dopo poche ore e diconsi *cementi idraulici*.

Le calci dette idrauliche in generale non contenendo in giusta proporzione i componenti che le rendono idrauliche ed applicabili nelle costruzioni senza alcuna aggiunzione d' argilla, hanno bisogno nella preparazione delle malte idrauliche d' essere mescolate con più o meno argilla e silice per quanto ne sono più o meno difettose le calci stesse.

L'indurimento delle malte idrauliche si spiega facilmente dalla conoscenza esatta dei corpi contenuti nelle calci idrauliche della sabbia e pozzolane mischiatevi, e dalle reazioni chimiche che avvengono fra loro. I calcari che dopo la cottura ci danno le calci idrauliche sappiamo che contengono silicato d'allumina, silice, calce, potassa, e soda (silicati), magnesia caustica, sesquiossido di ferro, ossido di manganese, ora il silicato d'allumina per l'azione degli acidi e delle basi potenti si scompone, nel nostro caso la scomposizione avviene in virtù della calce in presenza della quale il silicato si trova; dippiù la silice che per tal modo viene separata come l'altra che già libera si trovava è silice gelatinosa solubile negli acidi e nelle soluzioni alcaline; ora ad avere una soluzione alcalina provvede l'acqua che nelle malte si contiene, la quale sciogliendo un po' di calce, ci dà appunto nell'acqua di calce la detta soluzione, indi la reazione che ci fornirà silicato di calce, il quale dapprima molle e pastoso prende poi coesione e durezza. Pertanto una delle ragioni che cerchiamo è in ciò che: l'acqua sciogliendo alquanta calce, l'acqua di calce che se ne forma scioglie la silice e ci dà un silicato insolubile. In seguito al silicato di calce si combinerà alquanta acqua e il rimanente silicato d'allumina, da formare uno di quei silicati doppi idratati come la prenite ed altri di cui abbiamo pure esempi in natura.

Continuando ad esaminare i varii corpi notati troviamo la potassa e la soda, cui la cottura ha ridotte a silicato stante la debole temperatura di loro fusione; tali silicati noi sappiamo si scompongono in contatto della calce idrata, e il prodotto è ancora silicato polibasico di calce.

La magnesia si comporta come la calce, scompone il silicato d'allumina e scioglie la silice, provvedendo silicato di magnesia che è pure insolubile. Si osserva a tal proposito come più pronta ad indurirsi ossia a convertirsi in silicato si mostri la calce magnesiacca, che la calce pura. Ora non appare di ciò altra ragione se non la tendenza che i due silicati di tali sostanze possino avere ad unirsi insieme per formare un silicato doppio, di cui anche la natura ci porge esemplari.

In quanto al sesquiossido di ferro, sostengono alcuni ch'esso non abbia alcuna influenza sull'indurimento delle calci che accompagna; altri invece fanno osservare: 1° che nel calcare dotato di idraulicità quasi sempre constata la presenza di detto corpo; 2° fanno notare che non manchi la possibilità che tale corpo si com-

bini alla calce quando colla potassa e colla soda pure s' unisce ; 3° esperienze a ciò istituite in cui un miscuglio d' argilla, calce e sesquiossido di ferro calcinato ed immersi nell' acqua separansi in due strati, di cui l' inferiore mentre mostrasi costituito in gran parte di calce, e sesquiossido di ferro si presenta poi indurito a differenza dell' altra, e l' uno e l' altro fatto manifestansi in proporzioni tanto maggiori quanto più abbondava il sesquiossido di ferro, sono cose che ci persuadono, come anche di quì sia da ripetersi direttamente il fenomeno della presa.

Da ultimo si ha l'ossido di manganese che, per la tenuità della proporzione in cui la calce sempre lo contiene non merita che un' importanza secondaria.

Concludendo adunque, diremo che nella presa delle calci idrauliche sono fattori noti la silice ed il silicato d' allumina da una parte, e la calce soda e potassa dall' altra; fattore probabile il Sesquiossido di ferro di niun conto l'ossido di manganese.

Giova ancora accennare un fatto che levò tante dispute fra i scienziati, ed è l' alterazione cui vanno soggette le malte idrauliche allorchè sono messe in opera nelle acque del mare: in tali casi succede che esse appena dopo la presa si rammolliscono e sfaldano da lasciarsi espostare dall' acqua, e si osserva avvenire il fatto in modo che il più spesso la calce è totalmente eliminata ed in sua vece costituita altrettanta magnesia, talvolta ciò non succede e sovente si constata la calce arricchita di acido carbonico. Ora la origine di ciò dipende da che le acque di mare sono ricche di cloruro di magnesia, e talora anche di acido carbonico, il cloruro di magnesia à contatto del silicato di calce da luogo a silicato di magnesia e cloruro di calcio, quello resta e quest' ultimo vien sciolto ed esportato dall' acqua; che se l' acqua contiene gran quantità d' acido carbonico, sia essa dolce o di mare, è facile vedere come passi la calce a carbonato quindi a bicarbonato nel quale stato è solubile.

Intanto per l' una o per l' altra di queste ragioni si incominciano a formare piccole fessure, cui in seguito la forza delle onde ingrandisce. Molti rimedii furono proposti l' un differente dall' altro, Malaguti ritiene con altri essere espediente efficacissimo adoperare malte abbondanti di Sesquiossido di ferro altri con Vicat l' usar calci contenenti magnesia; oggi pare appunto per l' origine detta del fenomeno, e in quest' ultima opinione, debba avere la preferenza, del resto il mezzo più certo è di istituire esperienze apposite per ogni caso particolare.

I cementi s'è detto altro non sieno che calce idraulica la cui presa è istantanea; sarà quindi vano cercare la ragione del loro indurimento fuori di quelle che per le calci idrauliche già si trovano. Il Vicat, il Ponza di S. Martino e molti altri danno tavole per le proporzioni dei componenti le diverse qualità di malte idrauliche e cementi.

La composizione delle malte in generale si può ritenere

di	40	%	di	allumina
»	35	»	»	silice
»	5	»	»	calce
»	20	»	»	ferro.

Le malte di cui abbiamo teste parlato mescolate in diverse proporzioni con sabbia, ghiaie e pietrame rotto, danno ciò che chiamasi *calcestruzzo* e che adopraasi in quasi tutte le fondazioni idrauliche per la proprietà che ha di potersi calare al fondo in piccole quantità ed a strati e d'indurirsi in breve tempo per poter sorreggere tosto il restante del muro che gli deve soprastare.

Col variare del genere di fondazioni che si avranno a fare, varieranno pure le proporzioni di malte che mescolerassi col pietrame, che sarà tanto più adatto quanto più presenterà irregolarità di superficie. Se la preparazione di quest'impasto si fa per costruzioni idrauliche di poco momento, allora si farà a braccia d'uomini, misurando la malta e le pietre con carriuole e rimescolando il tutto con acqua per mezzo di apposite marre. Se la fabbricazione del calcestruzzo si fa per grandi costruzioni idrauliche allora adopransi diversi apparecchi meccanici come quello a *cassette*, la *cassa a piani inclinati* e l'*apparecchio di Schlosser*, dei quali si può vedere la descrizione in qualunque trattato di costruzione. Con queste macchine l'impasto vien fatto con più uniformità e con più prontezza. Bisogna aver avvertenza che il calcestruzzo quando vien posto in opera non s'abbia a dilavare poichè allora la malta n'andrebbe sparsa nell'acque ed il pietrame riuscirebbe isolato dalla malta e non potrebbe far buona presa; per evitar ciò a piccole porzioni si pone in recipienti ai quali sono unite aste lunghe tanto da poter toccare il fondo, se trattasi di fondazioni a non grandi profondità, in questo modo la cesta o recipiente vien calata quasi fino a toccare il fondo e fattale prendere una certa inclinazione il calcestruzzo ne rimane adagiato al fondo, quindi con cucchiaini a fondo piatto e con lungo manico si cerca di appianare più che si può evitando la

troppa compressione, poichè allora la malta ne schizzerebbe fuori ed in buona parte sarebbe esportata dall'acqua privandone il miscuglio.

Col calcestruzzo si fanno ancora blocchi le cui dimensioni sono variabili essendo prismi a base triangolare e rettangolare secondo l'uso che se ne fa, sono di 0^m,60 per il lato della base e di 1^m,20 per l'altezza, di quei blocchi si fa grand'uso presso Alessandria per le gettate a difesa di rapidi corsi d'acqua.

Sono a base rettangolare o quadrata di più grandi dimensioni quelli che s'adopra no ne' porti per la costruzione delle calate e moli. Questi parallelepipedi di calcestruzzo si formano così: Preparato il fondo rettangolare e le pareti laterali di legno, dalla parte superiore vi s'introduce calcestruzzo che man mano vien preparato da altri lavoratori, avvertendo ad ogni 15 o 20 centimetri di appianarlo e comprimerlo alquanto. Si lascia in forma fino a tanto che abbia preso consistenza, quindi si toglie la forma di legno che lo racchiudeva, e di nuovo vien aggiustato per la forma di un nuovo blocco, e così di seguito. Questi blocchi si lasciano prima d'essere posti in opera qualche tempo alle intemperie, acciocchè possano prendere una consistenza tale che quando debbansi mettere a posto non s'abbiano a fendere e guastare.

Nelle costruzioni idrauliche devesi por mente alla scelta delle pietre che costantemente dovendo rimaner immerse nell'acqua non vadano soggette a degradazioni notevoli e tali da farne deperire in pochi anni la costruzione.

Accennato così brevemente alla qualità delle malte e delle pietre ed allo scopo al quale debbano servire per fondazione idraulica diremo ora qualche cosa sui diversi metodi di fondazioni su bacque.

Fondazioni per mezzo di ture

Le ture non sono che una specie d'argini fatti nei fiumi, nei laghi, nel mare a fine di circoscrivere un terreno occupato dalle acque per poi prosciugarlo e quindi costruirvi. Questo terreno si circoscrive semplicemente con terra quando l'acqua che l'occupava non sorpassa 1^m di profondità dal fondo da cui incomincia la costruzione.

Se l'altezza varia da 1^m ad 1^m½ e non supera quest'ultima allora la tura si fa piantando verticalmente dei pali del diametro variabile da 0^m,20 a 0^m,25 ed alla distanza di 1,50 a 2^m l'uno dal-

l'altro e ad una profondità variabile pure da 1^m,50 a 2. Contro detti pali s'inchiodano orizzontalmente dei tavolati, composti di tavoloni dello spessore di 0^m,08 a 0^m,10 uniti costa a costa e collegati da traverse chiodate verticali.

I tavolati sono di dimensioni tali da venirsi a congiungere l'un l'altro all'incontro d'un palo. La terra finalmente vien posta a ridosso del tavolato disponendola in modo da presentare superiormente una specie di marciapiede e lateralmente una conveniente scarpa.

Se la profondità dal livello dell'acqua al piano di fondazione supera 1^m,50 allora la tura si forma con due filari di pali tavole e traverse ad una certa distanza l'uno dall'altro e nello stesso modo del suaccennato; per maggior solidità si legano per mezzo di catene le teste corrispondenti dei pali posti a fissate distanze. Queste catene che non sono altro che travicelli hanno la squadratura variabile fra 0^m,15 a 0^m,20 e talvolta anche 0^m,25. L'interno di questi filari è destinato a contenere la terra che separa il terreno da fondarvi da tutto il rimanente occupato dall'acqua.

Quando avviene che il fondo è di sabbia o ghiaia e sono a temersi delle filtrazioni che renderebbero la tura inutile si fa allora così: Si piantano le due file di pali, inferiormente e superiormente si uniscono filagne ai pali, e controfilagne che terranno con chiodi più solidi gli assi pali o palanche, ben unite costa a costa ed approfondate qualche decimetro nel terreno sottostante al permeabile, impedendo così in buona parte alle filtrazioni che si faranno strada da altra parte. Per consolidare il sistema si legheranno dei travi longitudinali sulle teste dei pali che verranno conservati a distanza invariabile per mezzo di catene trasversali ad incastro sulle travi longitudinali. La grossezza delle palanche varia fra 0^m,10 a 0^m,12 la squadratura delle travi longitudinali e quella delle catene trasversali varia fra 0^m,20 e 0^m,25 lo spessore delle filagne si può mediamente assumere 0^m,12, l'unione delle filagne si farà a dente semplice in isquadro. La terra conveniente al riempimento delle ture è quella che si mostra facile a prendere consistenza entro l'acqua.

Riguardo alla grossezza da assegnarsi alle ture si adopera generalmente dai pratici la regola di darne loro una eguale all'altezza dell'acqua che contro vi si appoggia, finchè quest'ultima non è maggiore di 3 metri e di aumentare di 0,50 per ogni metro d'accrescimento d'altezza dell'acqua, in questo modo viene anche provvisto alla spinta che può dare l'acqua alla tura.

L'Esperienza ha fatto vedere che sono inutili i mezzi di prosciugamento con norie pompe ecc. e quando siavi contr'essa una colonna liquida con altezza maggiore di 3^m, anzi l'impiego delle ture in opere di fondazioni difficilmente può convenire per altezza d'acqua maggiore di 2 metri.

Si dicono *ture fondiali* quando dal fondo dello stagno si manifestono delle filtrazioni talmente copiose da essere insufficiente l'effetto delle macchine di prosciugamento ad equipararle; in tali casi si potrà reprimere le filtrazioni con palloni di argilla secca, ovvero con sacchetti di terra argillosa, o meglio ancora con un'impasto di malta capace di formare coll'arena del fondo un cemento valido a resistere alla pressione dell'acqua, con questi mezzi si arriva generalmente ad arrestare il corso di filtrazioni parziali, e qualora riescano infruttuosi questi tentativi può tornar utile di mettere in chiusa la filtrazione, raccogliendo l'acqua che essa porta in un piccolo stagno, in cui si eleverà fino al livello di quella esterna senza poter uscire ad ingombrare il rimanente spazio racchiuso dalla tura.

Questo mezzo di chiudere la filtrazione dicesi *tura fondiale parziale*, avviene talvolta che il fondo componesi di terreno sabbioso ed allora i metodi di reprimere le filtrazioni diverrebbero infruttuosi, poichè represse coi metodi indicati comparirebbero in altri punti.

In questi casi bisogna estenderlo su tutta la superficie dello stagno ossia si fa una *tura fondiale generale*.

Nelle fondazioni del ponte di Moulins siccome riferisce Regemortes, si riuscì a vuotare uno stagno della superficie di 300^{m. q.} e di profondità 2,50 coll'aver disteso sul fondo dello stagno uno strato da 35 centimetri circa di terra sciolta un po' argillosa e coll'aver coperta con un tavolato ben unito e ben chiuso mediante strisce di tela e caricato di pietre, lo spessore delle tavole ch'erano d'abete non eccedeva i 3 centimetri.

I mezzi che tornano vantaggiosi nel caso di ture fondiali generali sono quelli di formar strati di malta idraulica o di calcestruzzo grasso, la calcina in eccesso che trovasi nella malta o nel calcestruzzo, come osserva l'ingegnere Bandemolin filtra per una certa altezza nella terra e forma come una specie di pudinga.

La sabbia fina come osserva l'ingegnere Favre, ha riuscito a resistere ad un carico d'acqua di 2^m50, e fu applicata con buon successo nella costruzione del canale di S. Martino, dopo averla impastata con calce comune nella quantità di $\frac{1}{20}$ a $\frac{1}{25}$ del suo volume.

Fu proposto dal generale Treussart l'uso di una tela catramata ed impermeabile da distendersi sul fondo dello stagno in cui si vogliono reprimere le filtrazioni, dove vuol essere colato uno strato di malta idraulica o di calcestruzzo, perchè questa tela catramata a causa delle irregolarità del fondo e delle scabrosità e peso del calcestruzzo non s'abbia a stracciare, si suggerì di unirle fra due tele non intonacate, in questo modo risultò un corpo talmente solido da reggere i carriuolanti e gli operai destinati allo scarico od alla regolarizzazione del calcestruzzo. questo metodo fu applicato in varie fondazioni con buon successo.

Fatte le ture ed impedito coi mezzi accennati in massima parte alle filtrazioni del fondo, altro non si ha a fare che togliere l'acqua dallo stagno per poter con maggiore agevolezza cominciare le fondazioni.

L'operazione di espellere l'acqua e di mantenere asciutto un cavo od uno stagno, in cui vuolsi praticare un lavoro di fondamenti chiamasi in pratica col nome di *aggottamento*, ed i mezzi per condurlo a compimento si dicono *idrovari*. Quei d'uso più frequente ed a braccia d'uomo sono le *secchie* le *bigonce* le *gotazze*, le macchine idrovore poi sono conosciute coi nomi di *attaleni idraulici* di *norie* di *bindoli idraulici* di *timpani idrovori*, di ruote *idrovore a palmette* di ruote *idrovore a cassette* e di *pompe* o *trombe*, di tutti questi meccanismi credo superflua la descrizione, per essere alcuni troppo comuni ed altri facilmente concepibili. Perchè lo stagno venga ad essere perfettamente prosciugato si praticherà nel fondo un pozzetto dove si raduneranno in ultimo le acque provenienti da piccole filtrazioni e dal quale di tempo in tempo verranno tolte.

Fondazioni su sabbia bollente

Dicesi *sabbia bollente* quello strato di arena che quando si scopre anche per una piccola altezza, si sposta, presenta degli scoscendimenti per le acque derivanti da sorgenti che in certo qual modo la fanno bollire.

Questa sabbia trovasi al disopra di uno strato di terreno argilloso ed al disotto di un di terra vegetale un po' sabbiosa attraverso della quale trapela l'acqua, che arrestata dallo strato d'argilla, si mescola colla sabbia e finisce per diventare fluida ed a colare con essa allorquando le si dia uno sfogo con un'escavazione

qualunque. Queste fondazioni presentano difficoltà non lievi quando il terreno su cui si può fondare è abbastanza profondo. Per fondazioni non tanto profonde si opera in questa maniera.

Segnata la direzione delle fondamenta a farsi s'applica una prima squadra allo scavo d'una porzione di terreno fino al sito dove incominciano a manifestarsi le sorgenti, quindi l'affonda fino alla profondità a cui si vorrà stabilire il fondamento.

Allora una squadra di muratori lavorando di fronte nel senso della larghezza della fossa praticata scavi il sito di posatura del 1.^o filare e disponga successivamente le pietre in questa specie di cassa senza malta, in guisa da costruire dei filari nel senso della larghezza del muro, avendo cura di assettarle il meglio possibile, di batterle gagliardamente con una mazzaranga ferrata, di calzarne le commisure con frantumi della stessa pietra, e poi di ricoprirle con uno strato di buona malta idraulicaempiendone bene i vuoti. Quando questa squadra di muratori avrà fatta una lunghezza di metri 0,60 o metri 0,70 di questo filare di fondo, una 2.^a squadra poserà un secondo corso di muratura colle pietre a commisure alternate sul primo, e quando anche questo 2.^o corso troverassi già eseguito per una lunghezza di metri 0,60 a metri 0,70 una terza squadra farà ciò che fece la 2.^a ecc., essendovi sempre una squadra di scavatori a distanza di circa metri 1,30 dalla 1.^a squadra di muratori e quindi 3 o più squadre a distanza l'una dall'altra di 60 a 70 centimetri. In questi lavori bisogna sempre impiegare buone malte idrauliche, e lavorare colla massima sollecitudine possibile onde mettersi al riparo degli avvallamenti e dalle inondazioni delle sorgenti. L'applicazione, in questo genere di fondazioni, di più squadre si fa per ultimare di piccole porzioni in piccole porzioni, queste fondazioni acciocchè non vadano a deperire col sopraggiungere le acque e colle frequenti frane.

Fondazioni su terreni resistenti mediante cassoni senza fondo

Per mezzo di apparati effossori, i quali non sono altro che semplici meccanismi per scavare sott'acqua e de' quali per brevità mi tralascio di dire, raggiunto il terreno resistente e resa la base con questi apparati il più che si può orizzontale, si farà posare sovr' essa un cassone senza fondo in legno o in metallo entro al quale si farà discendere fino ad una certa altezza il calcestruzzo che servendo

come di fondo permetterà che si tolga l'acqua soprastante e quindi si possa continuare il lavoro all'asciutto.

Secondo le dimensioni di questi cassoni variano i meccanismi per potergli calare nell'acqua e disporli nelle dovute posizioni. Questi cassoni finchè sono di gran mole si fabbricano sui cantieri, altrimenti si costruiscono su punti in legno provvisorii e con aiuto di barche nel luogo stesso dove devono essere posti, a misura che si costruiscono, si fanno in parte immergere nell'acqua perchè tutto il peso non sovrasti sui ponti provvisorii, si deve aver di mira che la costruzione del cassone nelle parti laterali superiori dev'essere fatta in modo che vengano impedito le infiltrazioni dell'acqua potendo così estrarne dall'interno l'acqua quando il calcestruzzo è giunto ad un'altezza di 50 cent. sotto il livello dell'acqua e lavorare all'asciutto.

Al ponte di Nogent-sur-Marne l'ingegnere Pluyette costruì un cassone in lamiera di ferro per la fondazione delle pile, ed al ponte di Saint-Michel a Parigi l'ingegnere Vandrey adoperò per lo stesso scopo un cassone in legno lungo inferiormente metri 38,22 e superiormente 36,34, inferiormente metri 6,23 e superiormente 4,34 ed alto metri 4,80. Questi cassoni hanno la forma di un tronco di piramide rettangolare senza basi, le cui facce hanno la medesima inclinazione sulle basi. L'ossatura dei cassoni senza fondo è formata di travicelli di legno forte a sezione quadrata di 0^m15 a 0^m20 posti in tutti i vertici dello stesso, e sulle pareti a distanza di circa 2^m da asse ad asse e rilegati internamente ed esternamente da due ordini di filagne e controfilagne la cui sezione quadrata è di 25 a 30 cent. poste a distanza reciproca di metri 1,50 a 2, lievemente intagliate dove si uniscono ai travetti e con queste inchiodate, di tavole poi con spessore non minore di 0,05 tagliate a forma di cuneo alla loro estremità inferiore e che si cacciano tra le filagne ben unite insieme per tenere il calcestruzzo nei limiti voluti.

Il metodo di fondazione con cassoni senza fondo torna in generale vantaggioso in tutte le circostanze, nelle quali si trova un fondo resistente al disotto del fango e della sabbia mobile esistente nei terreni sommersi, ed a profondità non maggiore di 4 a 5 metri al disotto delle acque.

Fondazioni con casseri

Questo sistema di fondazioni torna vantaggioso per la costruzione delle spalle e delle pile dei ponti e quando il terreno resi-

stente si trova ad una profondità non maggiore di 4 metri, ma tale da poter affondare pali e palanche. Si piantano pali delle solite dimensioni ed alle fissate distanze di 1^m a 2^m da asse ad asse lasciando spuntare fuori acqua qualche decimetro, allato dei quali si piantano le palanche che porteranno le coste una in risalto e l'altra in rincasso per rendere ben unite le pareti del cassero. Queste palanche superiormente verranno mantenute nel medesimo piano in cui stanno gli assi dei pali con un'ordine di filagne ed un'ordine di controfilagne le quali più legheranno le teste dei pali. Esteriormente ed ai piedi dei pali e delle palanche si gettano pietre più grosse per impedire gli urti della corrente. Costrutto il cassero si toglie dal fondo il fango e l'arena fino a trovare il terreno resistente, s'appiana quanto più è possibile e si riempie di calcestruzzo fino a 50 centimetri circa sotto il livello dell'acqua, quindi si mette il 1.^o strato tutto intorno alle pile di pietre ben squadrate a spigoli netti ed a perfetto combaciamento, ed internamente pietre grosse e piccole e più grossolanamente tagliate, ma però ben costipate e con buona malta.

Nel caso che il terreno sia compressibile si planteranno dei pali che andranno a toccare il fondo resistente che non dovrà superare 12 metri di profondità; le teste si taglieranno ad un'altezza tale che spuntino dal terreno $\frac{1}{3}$ dell'altezza del calcestruzzo il quale così gli circonda e si poggerà sopra le teste, il rimanente si fa come nel modo ora descritto.

Fondazioni su castelli in legname

Questo sistema è vantaggioso qualora non si voglia porre all'asciutto il sito dove si deve fondare. Si incomincia dal piantare sul terreno che dev'essere occupato dalle fondazioni diversi ordini di pali avendo prima scavato ed appianato sott'acqua fino ad una piccola profondità con badili e con cucchiari ecc.

Fatto ciò si scapezzano i pali con seghe in modo che le loro teste sieno tutte ad una medesima altezza ed al disotto del livello per qualche decimetro. Nel mentre si fa ciò a terra vien preparato un zatterone di quercia o larice rosso mediante travi longitudinali e trasversali disposti in modo che le loro intersezioni, quando si trasporti e si faccia affondare sul luogo della palificazione vengano a poggiarsi sulle teste dei pali. Essendo cosa difficile ad ottenersi che le intersezioni delle travi vadano a cadere precisamente sugli

assi dei pali non essendo questi mai esattamente ne' stabiliti allineamenti s'adoperano i pali di diametro piuttosto grande come pure le dimensioni dei legami del zatterone, se poi i pali fossero stati piantati con troppa irregolarità allora si formerà il rilevamento planimetrico delle teste dei pali e vi si adatterà il zatterone.

Il zatterone s'unisce alle teste dei pali mediante caviglie che passano per fori praticati nel zatterone e vanno ad infiggersi sulle teste dei pali. Queste caviglie si fanno entrare battendo aste di ferro un po' più lunghe della distanza dalla testa del palo al livello dell'acqua e che poggiano sulla testa delle caviglie stesse. Si sostituirà al vuoto lasciato per lo scavo dalle terre delle pietre ben costipate o calcestruzzo fino sotto al zatterone.

Sopra questo si poggerà la piattaforma che verrà preparata fuori acqua se il zatterone è regolare, se no si poggiano i tavoloni a sito l'un dopo l'altro acciocchè il lavoro che si fa sia meglio regolato. L'insieme di questi tavoloni del zatterone e pali forma il castello sopra del quale s'innalza il muro.

Fondazioni con cassoni

Le fondazioni fatte con questo sistema consistono nel preparare dei cassoni impermeabili all'acqua con fondo assai resistente e a pareti laterali da togliersi quando la muratura che si fa internamente ed all'asciutto sia terminata.

Quando il fondo su cui deve poggiare il cassone è resistente ed a non molta profondità allora s'appiana per quanto è possibile ed a poco a poco mentre si costruisce il muro entro il cassone all'asciutto si fa discendere il cassone in modo che vada a situarsi nel determinato allineamento; terminata la muratura si tolgono le pareti laterali che potranno essere adoperate nuovamente per altro cassone.

Se il fondo resistente è tanto profondo da dover adoperare pali allora si planteranno più filari di pali si scapezzeranno alla stessa altezza, quindi costipato di pietre o calcestruzzo come s'è fatto nei castelli in legname si farà poggiare il cassone sopra la palificata badando che le travi trasversali del fondo del cassone vengano a situarsi sulle teste dei pali di ciascun filare.

I cassoni sono conformati nel fondo da grossi travi perimetrali ne' quali s'incastano a maschio e femmina i trasversali di dimensioni minori, e che tutti poggiano direttamente sulle teste dei pali,

sui trasversali ed a questi normalmente si dispongono i tavoloni ben uniti insieme e ad incastro nelle costole.

Le sponde sono composte di ritti piantati nelle travi perimetrali del fondo, ed è da scanalature praticate in detti ritti che sono ritenuti i tavoloni orizzontalmente disposti per lunghezza e formanti le pareti del cassone. I ritti opposti sono due a due superiormente rilegati fra loro da travature o catene orizzontali che mantengono unito tutto il sistema, e dette catene sono attraversate alle loro estremità da tiranti in ferro che attaccati in basso ad un'uncino, sono superiormente tesi mediante una madrevite. In questo modo quando è finita la muratura togliendo le madreviti poste all'estremità superiore di ciascun tirante si possono levare le catene orizzontali e quindi le sponde laterali, lasciando solamente il fondo.

Le dimensioni dei travi perimetrali sono per la sezione retta da 20 a 35 centimetri, lo spessore dei tavoloni fra 0,08 a 0,12 la distanza fra asse ed asse dei piedritti è 1^m50 a 2^m.

Per portare da terra nell'acqua il cassone è caso abbastanza facile finchè si tratta di cassoni piccoli; ma pe' grandi cassoni si va incontro a serie difficoltà poichè il cassone come sappiamo immerso nell'acqua non ne deve lasciar entrare, e poco ci vuole nelle manovre di varamento che qualche pezzo s'incurvi per dar libero passaggio all'acqua tostochè vi sia immerso. Dovendosi immergere dei cassoni in mare, ove in grande succedono i fenomeni della marea, si può dai medesimi trar partito per agevolare l'operazione.

Un metodo che diede felice risultato si fu quello di costruire una zattera di botti su cui si fabbrica il cassone, terminato ch'esso sia si tirano delle funi che legano le botti e permettono l'introduzione dell'acqua nelle botti, essendo alle funi attaccati i turaccioli delle botti vuote. In questo modo entrando l'acqua nelle botti s'affonda la zattera ed il cassone rimane a galla.

Costipamento dei terreni compressibili e sommersi

Quando si ha da stabilire una fondazione su di un terreno compressibile ed incapace di sopportare il peso dell'edifizio da erigersi senza manifestare dei cedimenti, e quando un simile terreno si trova per un'altezza tale da non potersi raggiungere il fondo sodo mediante pali, converrà rinunciare ai metodi di fondazioni finora esposti e sottoporre primieramente il terreno compressibile ad un co-

stipamento artificiale, e principalmente quello di caricare l'impianto dei muri a costruirsi con un peso eguale almeno a quello dell'edificio da sovrainporsi.

Fondazione su platea generale

Consiste nel circuire la superficie in cui si vuol fare la platea mediante paratie di cinta scavando nello spazio così limitato una porzione di terreno per rendere orizzontale il fondo e gettato in esso uno strato di calcestruzzo che potrà giungere sino al livello dell'acqua, e su di questo strato potranno mettere un'altro di grosse pietre.

Simil sistema il vidi adoperare e s'adopera tutt'ora con buon successo nella costruzione de' magazzini generali di Genova, il pianterreno degli stessi poco più alto del livello dell'acqua; al disopra del calcestruzzo posesi uno strato di grosse pietre ben squadrate e che servono di pavimento. Simili platee si stabiliscono su una superficie più ampia di quella coperta dall'edificio da erigersi, cosichè nel caso di platee generali per ponti si estendono esse nell'alveo del corso-d'acqua non solo in corrispondenza della proiezione orizzontale della costruzione intera ma anche a monte ed a valle per rapporto a detta proiezione, ed è mediante gettate in grosse pietre che si diffondono generalmente dai flutti e dall'impeto delle acque correnti. Le platee generali oltre al non permettere infiltrazioni d'acqua che potrebbe giungere a determinate altezze da danneggiare la costruzione offrono un modo sicuro di fondazione sopra terreni cedevoli pel riparto della pressione su un'ampia base, e sopra fondi incompressibili non abbastanza tenaci per resistere alla forza escavatrice dell'acqua in moto, quali sarebbero quelli di arena o di ghiaia. Lo spessore delle platee dev'essere tale che ancorchè il terreno sottostante venisse per qualche piccola porzione a mancare lo strato di calcestruzzo non abbia a rompersi pel peso soprapstante e rovinare così la costruzione.

Gettate di fortificazione e di rinforzo

Quando si hanno a far fondazioni in luoghi ove l'acqua è in continuo movimento come in un torrente o fiume a non piccola velocità o in riva al mare dove l'acqua può essere da un'istante all'altro più o meno agitata, allora è necessario, prima di stabilire

direttamente le fondazioni pe' muri, fare una *gettata di fortificazione* cioè gettate intorno alle fondazioni a farsi di ammassi di grosse pietre per diffenderle contro l'impeto delle acque agitate. *Gettate di rinforzo* si hanno quando le pietre si stabiliscono pel riempimento di palificate subacquee per poi costruirvi sopra.

Le pietre che s'adoperano in quest'operazioni devono essere dure, di buona qualità e di diversa grossezza, affinchè allorquando vengono messe in opera, ben si pongano in contatto le une colle altre. Il volume delle pietre da impiegarsi in gettate di fortificazioni di rinforzo dev'essere sempre proporzionato alla velocità della corrente ed alla pendenza che vuolsi assegnare alla scarpa della sassaia, in modo che dette pietre non possano essere esportate dalla corrente.

Per l'economia e per la solidità dell'opera, importa per quanto si può di impiegare massi di forma piatta per ricoprire le pareti delle gettate; le scarpe poste contro la corrente, e quelle di fianco devono essere conservate secondo il naturale assettamento preso dalle pietre nell'eseguimento della sassaia, e se comunemente vien data una pendenza maggiore, questo si fa solamente nell'intento di mettere i materiali necessari ad otturare gli avvallamenti che si potrebbero formare al piede delle gettate.

Il miglior mezzo per togliere il pericolo di avvallamento nelle gettate si ha nell'incassarla fra paratie di pali e di palanche, o più economicamente nell'interrare le loro basi a sufficiente profondità nel fondo su cui vengono stabilite.

Un bell'esempio di gettata per fortificazione potei vedere a Genova nella costruzione di una strada di circonvallazione a mare. La gettata fu fatta primieramente e più esternamente di grossissime pietre per impedire che l'acqua ne portasse via i detriti e le piccole pietre che si gettavano più vicino alle fondazioni e destinate a formare il nucleo della gettata stessa. Siccome in quella posizione il mare solita infuriare fortemente si fu costretti di innalzare la gettata dal livello del mare da 2 $\frac{1}{2}$ a 4^m formando dalla parte del mare una scarpa di grossi massi irregolari per infrangere l'onde impetuose. Non ostante queste precauzioni due o tre volte ebbi a vedere abbassata la gettata, rimettere a posto le rotaie di due binarii per vagoncini destinati al trasporto delle pietre per la formazione e restaurazione della gettata stessa. In simili casi dovrassi piuttosto abbondare nella gettata de' grossi massi per non aver a ricominciare costruzioni rovinata dall'onde.

Fondazioni a scogliera

Questo sistema di fondazioni che dicesi anche a *pietre perdute* e che adoprasi là dove il terreno a fondare è ad una profondità tale da non poter adottare i metodi conosciuti. Si incomincia con macchine effosorie a togliere per una certa altezza il terreno che sempre è limacioso e soggetto a pericolosi cedimenti pe' carichi sovrapposti, si fanno discendere grosse pietre per quanto si può piane e regolari per formare un'ampio ed alto zoccolo colla sua faccia superiore orizzontale e le laterali inclinate almeno a 2 di base e 1 d'altezza, quindi si stabilisce sul zoccolo dei cassoni con o senza fondo per riempirli di calcestruzzo, sul quale in ultimo s'eleva la costruzione da eseguirsi.

Nell'esecuzione di queste scogliere si deve aver di mira di disporre le pietre a strati per volta, serbando le più grosse per le sponde e le piccole per formare il nucleo interno, le piccolissime per riempire i vani che rimangono fra le grosse pietre. In generale trattandosi di scogliere da stabilirsi in laghi ed in mari, si possono impiegare negli strati più bassi pietre di minor volume di quello che debbono adoprarsi più in alto, giacchè con esperienza s'è dimostrato che anche nelle più burrascose agitazioni le acque del mare si mantengono quasi in perfetta calma alla profondità di 8 metri sotto la superficie, che alla profondità di 4 o 5 metri il turbamento dell'acqua è poco sensibile, e che poi a dismisura aumenta l'impeto delle onde verso la superficie. Terminata una scogliera non devesi immediatamente procedere all'esecuzione della muratura che sopra vi deve gravitare; ma sibbene conviene aspettare che per le scosse delle acque agitate, le pietre vengono a prendere le posizioni più confacenti al vicendevole loro contrasto e che tutto il sistema giunge ad un perfetto assettamento.

Fondazioni idrauliche su pali a vite

I pali a vite si impiegano nelle fondazioni idrauliche per lo stesso scopo a cui servono i pali ordinarii. Finchè si ha un ponte di servizio sul quale risulta possibile la circolazione degli operai all'intorno dei pali che si devono piantare si adopera il metodo di piantamento già stato indicato. Quando poi tale circolazione risulta difficile o impossibile, si munisce la testa di ciascun palo che si

va piantando di una gran ruota di contorno poligonale e scannato, a cui si avvolge una corda senza fine che va a passare su una puleggia posta a qualche distanza e che, essendo tirata da operai su un palco esistente fra il palo che si stà piantando e la puleggia, fa girare la ruota e quindi anche il palo del quale si ottiene così l'affondamento.

Con questo artificio si possono estendere delle palate in acque agitate facendo lavorare gli operai sopra un palco che va avanzando a misura che cresce il numero dei pali piantati, e che altrimenti sarebbe stato di difficilissima o almeno di costosissima esecuzione.

Fondazioni idrauliche a pozzi

Questo sistema consiste nel far riposare degli archi o un zatterone o una piattaforma di legname e talvolta anche una piattaforma metallica sopra serie di colonne cilindriche. Su una robusta corona metallica, ed in muratura di mattoni e cemento e fuori d'acqua si costruisce una scorsa cilindrica col diametro esteriore uguale a quello della colonna che vuolsi fondare e collo spessore di circa 0^m,50. Quest'anello murale elevato al disopra d'un tavolato galleggiante si lascia immergere per proprio peso, e prima che tocchi il fondo si toglie il tavolato che lo contiene e si fa in modo che verticalmente insista sul terreno sul quale vuolsi stabilire una colonna di fondazione, coll'avvertenza che s'elevi di circa 1^m dal livello dell'acqua. Ciò fatto mediante ordigni a lungo manico si scava il terreno per quanto si può attorno e sotto alla corona circolare. In questo modo la colonna pel proprio peso s'affonderà fino a tantochè, scavando sempre mediante apparati effosori, si raggiunga il terreno resistente, arrivati al quale, fatto ben poggiare orizzontalmente la colonna stessa, quando vi si introduce calcestruzzo fino all'altezza di 1^m circa alla quale altezza l'acqua non può più entrare per infiltrazioni entro la colonna. Si toglie l'acqua per mezzo d'apparati idrovori e quindi si continua la muratura internamente ed all'asciutto, come pure si possono anche riempire queste colonne coll'acqua internamente gettando calcestruzzo.

Sopra queste colonne si fanno poggiare delle piattaforme con archi ecc. per innalzare la costruzione.

Furono costrutte delle colonne in lamiera di ferro ed affondate, scavando inferiormente il terreno fino a trovare quel resistente, ed aggiungendo man mano che la colonna s'affonda anelli metallici.

Questi anelli si uniscono mediante bordi interni con chiodi ribaditi allorquando sono in ferro, o da chiavarde quando sono in ghisa. Per impedire poi che abbino luogo delle infiltrazioni in dette giunture, se pur non credesi sufficiente l'impiego d'argilla o di stoppa, si può porre un anello di caoutchouc fra i due bordi degli anelli che si toccano. Raggiunto il fondo si empiono di muratura e quindi si può erigere la fabbrica al disopra dell'acqua. Con questo sistema non si possono raggiungere grandi profondità a motivo delle difficoltà che s'incontrano per eseguire gli scavi subacqui nell'interno delle colonne tubulari, ed affinchè non risultino troppo impacciate le manovre che in essa si deve fare, conviene che il loro interno diametro non sia minore di 2 metri.

Fondazioni tubulari mediante il vuoto

Se un palo cavo aperto per la sua estremità inferiore e chiuso per la estremità superiore, vien collocato verticalmente su un terreno bagnato, e pel fondo superiore si fa comunicare l'interno del tubo con una macchina pneumatica in moto, il palo s'affonda per la pressione esterna e per lo smovimento del terreno sottostante al palo prodotto dall'entrare precipitoso dell'acqua nell'interno del palo stesso. A misura che il terreno nell'interno del tubo s'alza vien tolto per mezzo di semplici apparecchi effosori, e quindi si fa di nuovo il vuoto, succede lo smovimento del terreno e l'affondamento del palo e così di seguito fino a tanto che il palo non abbia raggiunto il terreno resistente, raggiunto il quale, si introduce nell'interno del tubo del calcestruzzo, e quindi poste sopra la serie dei pali una piattaforma metallica, su di questi s'eleva la muratura.

Questo metodo di piantare i pali lo mise in pratica per primo l'inglese dottor Potts, il quale in fondazioni profonde adoperò pali cavi in ferro o in ghisa con felice successo. Le dimensioni di questi tubi sono di diametro di 0^m,35 a 0^m,70 e dello spessore di 0^m,037.

Nel 1847 per la costruzione di un viadotto dell'isola d'Anglesey strada di Chester a Holyhead, si stabilì ciascuna pila sopra una piattaforma in ghisa sopportata da 19 pali aventi l'indicato spessore medio e di diametro esteriore di metri 0^m,355. Ciascun palo raggiunto la voluta profondità, si vuotava delle materie terrose che conteneva per un'altezza di circa metri 1,80 e quindi si riempiva di calcestruzzo.

Fondazioni tubulari ad aria compressa

Questo sistema di fondazioni idrauliche consiste nel procurarsi delle solide e stabili colonne atte a sopportare il peso delle costruzioni ad elevarsi, impiegando grossi cilindri o tubi in ferro o in ghisa aperti inferiormente e chiusi superiormente, col discacciare l'acqua che in essi si trova mediante l'aria compressa, col far discendere nel loro interno degli operai onde scavare ed estrarre le materie terrose ed ottenere il voluto affondamento, col riempirli di muratura regolare o di calcestruzzo.

Nota il luogo dove devono essere affondati alcuni cilindri si costruisce un ponte di servizio atto allo stabilimento degli apparati meccanici a produrre il voluto affondamento ed al comodo disimpegno di tutte le manovre che possono essere richieste dalla natura del lavoro. Costrutto questo ponte di servizio generale si fa un palco poco al disopra del livello dell'acqua nel sito dove si vuol affondare la 1^a colonna, su di questo palco si procede alla costruzione di una lunghezza tale di tubo da sporgere alquanto al difuori dell'acqua allorquando verticalmente venga disceso nel terreno in cui dev'essere affondato. Ciascun cilindro viene generalmente costituito da anelli di eguale altezza e di eguale diametro, muniti internamente ed alla loro estremità di risalti mediante i quali si inchiodano gli uni sugli altri, chiudendo ermeticamente le commisure con argilla con stoppe, con mastici e meglio con un'anello di caoutchouc stretto fra un bordo e l'altro.

Così preparato il cilindro da affondarsi, si mettono a sito sul ponte di servizio opportune macchine destinate a sostenere, ad innalzare e ad abbassare pesi, come paranchi, vericelli, argani, grou. Con funi e catene si lega il tubo, si solleva alquanto, si toglie il palco sul quale venne costruito e verticalmente si fa discendere sul sito in cui dev'essere affondato, dove per proprio peso penetrerà nel terreno fino ad una certa profondità.

Al disopra di questo tubo si pone un tubo dello stesso diametro e s'unisce al cilindro affondato nello stesso modo degli altri pezzi aggiunti. Quest'aggiunta contiene la *camera d'estrazione* e la *camera d'aria*, la 1^a ha lo stesso diametro dei tubi e la 2^a che è posta più superiormente si compone di due scompartimenti avendo in sezione orizzontale la forma di un *D* un po' spazati fra di loro, situati l'uno in posizione inversa dell'altro.

La camera d'estrazione ha nel suo coperchio superiore le aperture adatte a poter ricevere i due scompartimenti della camera d'aria, la si mette a posto chiudendone ermeticamente tutte le commisure coi mezzi che si sono indicati parlando del collegamento degli anelli costituenti il tubo. Ciascuno dei due scompartimenti della camera d'aria è superiormente fornito d'una apertura con una valvola aprentesi dall'alto in basso, è rischiarato per un cristallo posto nel mezzo di detta valvola e mediante una porta collocata nella parete piana ed aprentesi dalla camera d'aria verso la camera d'estrazione vien messo in comunicazione con questa e quindi col cilindro. Nella camera d'estrazione e fra i due scompartimenti dell'aria trovansi due piccole gru che coi loro bracci possono entrare in detti scompartimenti per depositare le secchie che servono all'estrazione delle materie scavate e per prendere quelle vuote e quelle piene di materiali che si devono portare al fondo del tubo.

Sul fuso di un vericello messo a braccia d'uomini si avvolge la catena o la fune che serve da una parte ad abbassare una secchia mentre sale un'altra dall'altra parte.

Al fondo della camera d'estrazione è stabilito un palco munito di due aperture circolari pel passaggio delle secchie che salgono e che discendono. Mediante apposite scale gli operai possono discendere dalla camera d'aria al palco della camera d'estrazione e venire al fondo passando per le anzidette aperture.

L'aria compressa portata da opposto tubo di cuoio o di caouthouc arriva al rubinetto, esteriormente alla camera d'estrazione e camera d'aria, e che chiamerò r' , e trovandosi questo aperto, penetra nella camera d'estrazione e quindi anche nel tubo che vuolsi affondare. Un'altro rubinetto che per brevità dirò r' e che è internamente alla camera d'aria mette questa in comunicazione colla camera d'estrazione, ed i rubinetti che chiamo r'' r''' uno interno alla camera d'aria e l'altro esterno servono allo sprigionamento dell'aria compressa contenuta nelle dette camere. I rubinetti sono generalmente fatti in modo da potersi maneggiare sia dall'interno quanto dall'esterno dell'apparato.

Collocato a posto la camera d'estrazione o la camera d'aria mediante tre catene, che vanno ad attaccarsi all'esterno della camera d'estrazione e ad avvolgersi a tre vericelli convenientemente collocati sul ponte di servizio, si cerca di portare il cilindro alla precisa verticalità.

Invece delle tre catene sono talvolta tre aste colle loro estre-

mità superiori lavorate a vite, ciascuna delle quali va ad attraversare una chiocciola sostenuta da una trave del ponte di servizio; manovrando le 3 chiocciolate mediante manubri si può produrre l'innalzamento e l'abbassamento dell'aste da cui trovansi esse attraversate, e ridurre verticale il cilindro.

Dopo questo essendo chiusi i rubinetti r' r'' r''' si mette in azione un compressore d'aria mosso dal vapore e stabilito sul ponte di servizio, ed in ciascuno dei due scompartimenti della camera d'aria discende un'operaio e tiene socchiusa la porta. L'aria compressa somministrata da detta macchina penetra nella camera d'estrazione, perfettamente chiude le porte che saranno guernite d'una lista di caoûthouc dove battono contro le pareti nelle quali sono fissate, invade tutta la capacità del cilindro da affondarsi, l'acqua in esso contenuta incomincia a discendere di mano in mano che la pressione va aumentando, sorte pel disotto aprendosi un passaggio attraverso i meati del terreno ed alle gallozzole d'aria le quali appariscono alla superficie del liquido circostante all'intero apparato danno l'avviso che l'acqua è totalmente scacciata dal suo interno. Allora due operai che avranno l'incarico del maneggio dei rubinetti fanno entrare nelle camere d'estrazione i lavoranti i quali metà nell'una e metà nell'altra camera d'aria colla mano s'innalzano la valvola onde socchiudere le aperture superiori, ed aprono i rubinetti r' per lasciar entrar aria pei scompartimenti in cui si trovano. In poco tempo avviene che le dette valvole per effetto dell'interna pressione, più non abbisognano di essere sostenute e che ermeticamente si chiudono; che si stabilisce l'equilibrio fra la pressione che ha luogo dentro il cilindro e gli scompartimenti della camera d'aria, le porte senza difficoltà si possono aprire; allora gli operai per mezzo di semplici scale discendono al fondo per scavare avendo cura d'accendere candele steariche fine per lavorare al chiaro e perchè l'aria non abbia troppo facilmente a guastarsi.

Appena sbarazzati i due scompartimenti dalla camera d'aria, ciascuno dei due operai in essi rimasto chiude la porta ed il rubinetto r' per impedire che possa entrare aria compressa negli scompartimenti medesimi, ed apre il rubinetto r'' per lasciar sfuggire quella che già si trova, e per ottenere che la valvola pel proprio peso cada. Allora due altri operai col processo ottenuto per far entrare gli operai scavatori nell'apparato possono portarsi nel palco che trovasi al fondo della camera d'estrazione e qui rimanere per l'innalzamento e per l'abbassamento dei secchi.

Trovandosi tutti gli operai al loro posto, come or ora si è indicato, ed essendo chiuse le valvole degli scompartimenti della camera d'aria, ecco come incomincia e come progredisce il lavoro.

Gli operai che sono al fondo scavano il terreno su cui si trovano fino sotto all'orlo o tagliente del cilindro, e le materie sterate le caricano in una secchia; i due operai posti nella camera d'estrazione girando convenientemente il vericello fanno salire la secchia piena, discendere una vuota, e giunta quella alla sommità della corsa imprimono alla gru il necessario moto per fare entrare il suo braccio e la secchia nel rispettivo scompartimento della camera d'aria; l'operaio che in questo si trova stacca la secchia piena, ed attacca una vuota, rimette a posto il braccio della gru col l'aiuto degli operai che trovansi nella camera d'estrazione, chiude la porta ed il rubinetto r' , ed apre l'altro r'' onde ottenere che cada la valvola: allora con mezzi facili ad idearsi si estrae la secchia piena dallo scompartimento in cui si trova, e si scaricano le materie in essa contenute in apposita doccia destinata a riversarle in sito in cui non possano essere di impedimento al progresso del lavoro, la secchia vuota si discende nuovamente nello scompartimento da cui fu estratta, l'operaio che in esso si trova chiude la valvola ed il rubinetto r'' apre il rubinetto r onde stabilire l'eguaglianza di pressione nel cilindro e nello scompartimento in cui lavora, ed apre la porta per porsi in grado di staccare dal braccio della gru un'altra secchia piena e di rimettere quella vuota affinché venga discesa al fondo.

Nell'istante in cui una secchia piena arriva ad uno dei due scompartimenti della camera d'aria, una secchia vuota giunge al fondo dell'apparecchio, e nel mentre si fanno le manovre necessarie al vuotamento di quella; viene questa caricata ed elevata al livello dell'altro scompartimento, nel quale si ripetono tutte le manovre già descritte per vuotarla e per portarla al punto da essere ridiscesa. In tal modo il lavoro si mantiene in attività, progredisce lo scavo che deve produrre l'affondamento del cilindro.

A misura che lo scavo progredisce il tubo non andrebbe affondandosi per la pressione interna che sopravale all'esterna, si farà affondare lasciando sfuggire una parte dell'aria interna allora per mezzo del proprio peso s'affonda, in generale si pongono al disopra dei grossi pesi ed allora senza lasciar sfuggire aria il tubo s'affonda man mano che lo scavo progredisce. Quando i lavoratori debbono uscire per dar posto ad altri che si sono riposati facendo le solite

manovre e mettendo in comunicazione l'aria esterna coll'interno allora l'acqua esterna per la pressione atmosferica precipitandosi nell'interno del cilindro ne muove il terreno sottostante ed il cilindro va sempre abbassandosi. A misura che gli operai vanno scavando e che vengono ripetute le manovre necessarie all'affondamento, la camera d'estrazione e la camera d'aria si abbassano, incominciano a rendersi difficili le manovre da eseguirsi fuori dell'apparecchio ed è imperiosa necessità di allungare il cilindro. Per far ciò si lascia sortire tutta l'aria compressa, si stacca l'apparato costituito dalle due camere, innalzandolo e tenendolo a conveniente altezza mediante opportuna macchina stabilita per sollevare e sostenere pesi, si aggiungono nuovi anelli al cilindro affondato, si rimettono a posto le due camere e nuovamente si attiva il lavoro.

Raggiunto il terreno resistente non si estrae interamente la terra dal fondo, ma se ne lascia un piccolo strato che poi si ricopre con buon cemento: dopo fino alla metà della differenza di livello fra il fondo del cilindro e la superficie esterna dell'acqua si riempie il cilindro di calcestruzzo introducendolo per le camere nelle secchie medesime che servirono all'estrazione delle materie sterate, e finalmente si tolgono la camera d'estrazione, la camera d'aria, e gli anelli del cilindro esistenti ad un livello superiore a quello a cui deve arrivare la colonna di fondazione per fare allo scoperto l'ulteriore riempimento di calcestruzzo.

Se il terreno è impermeabile da riuscire difficile lo sprigionamento dell'aria al disotto del cilindro in cui dev'essere compressa, si può far uso di un tubo speciale partendo dal fondo di detto cilindro ed elevantesi in esso per portarsi esternamente e per dar sfogo all'acqua dove senza difficoltà può essere effettuato.

Per tubi piccoli si fanno camere ad aria con un scompartimento unico. Gli anelli che nel loro assieme danno i cilindri per fondazioni tubulari, si fanno ordinariamente in ghisa coll'altezza di 1^m collo spessore di circa metri 0,025 e col diametro variabile fra 1 e 3 metri, l'anello inferiore però, nell'intento di facilitare la penetrazione nel terreno, si fa talvolta in ferro con spessore di circa metri 0,02 ed un'altezza anche di soli metri 0,40.

I cilindri in ghisa sono più fragili di quelli in ferro, e quindi mal si appropriano dove possono trovarsi sottoposti ad urti. La distanza poi a cui devono essere collocate le colonne di fondazione per un dato edificio, dipende dal loro numero, dal diametro dei tubi da cui sono involupate e dal peso che devono sopportare.

Gli operai che lavorano nell'aria compressa si stancano molto e si è riconosciuto che non possono resistere allorché si arriva ad una profondità maggiore di 25 metri sotto la superficie dell'acqua. Entrati nella camera d'aria a misura che si stabilisce l'eguaglianza di pressione fra una parte e l'altra dell'apparecchio provano un certo malessere, al quale la maggior parte s'abituava, e per liberarsene aspirano fortemente l'aria compressa che li circonda, chiudono dopo la bocca ed operano una specie di compressione mediante i muscoli del torace e della guancia; allora si stabilisce una specie di equilibrio fra due lati del timpano, e si sente in questo momento una specie di sottil sibilo in seguito del quale sparisce ogni malessere. La respirazione si fa presso a poco nell'aria libera, la vista non rimane impressionata, ed il suono perde solamente un pò di intensità. I lavori per fondazioni ad aria compressa si fanno senza interruzione, gli scavatori si ripartiscono per squadre, ed ogni squadra lavora ordinariamente 2 volte in 24 ore e per quattro ore in ogni volta.

Questo genere di fondazioni idrauliche fu molto applicato nell'alta Italia per fondazioni di parecchi ponti.

Fondazioni ad aria compressa con cassoni

I sistemi delle fondazioni tubulari ad aria compressa mentre presenta dei grandi vantaggi sugli altri sistemi quando s'incontrano dei terreni mobili facili ad essere esportati sotto l'azione di forti correnti e soggetti ad avvallamenti nell'essere scavati, non va immune da inconvenienti che si possono riassumere: nell'inclinazione che talvolta prendono cilindri all'atto del loro affondamento, la quale inclinazione può diventare sì grave circostanza nei terreni argillosi da essere astretti all'estrazione: nella difficoltà che talora s'incontra per affondarli anche in seguito a grandi sovraccarichi; nei subitanei e non previsti affondamenti che talora si sono verificati dopo un'ostinato rifiuto; nei repentini e pericolosi sollevamenti che in molte occasioni si sono avverate; negli spostamenti che i tubi già affondati possono subire nell'atto dell'affondamento di altri tubi vicini, e finalmente nel non potersi affondare che uno alla volta i tubi da porsi in prossimità con gran perdita di tempo.

Nel settembre del 1857 per la costruzione di un gran ponte sul Reno le cui fondamenta dovevano portarsi a circa 22 metri sotto il pelo dell'acque medie in un fondo indefinito di arena mobilissi-

ma stabilirono il sistema di fondazioni ad aria compressa con cassoni. Questo sistema consisteva nell'impiegare, invece di tubi dei cassoni in lamiera di ferro senza fondo, ossia chiusi soltanto superiormente o lateralmente, alti in modo da poter in essi lavorare degli operai scavatori, e muniti ciascun di un gran tubo centrale per fare l'estrazione delle materie, detto perciò cammino d'estrazione, e di due tubi laterali minori, inservienti all'entrata ed alla sortita degli operai nel cassone e detti quindi *cammini di passaggio*. Alla sommità dei cammini di passaggio venivano collocate le camere d'aria e nel cammino d'estrazione si muoveva una noria.

Nella costruzione del ponte di Kehl che doveva presentare tre travate fisse nel mezzo, e una travata girante a ciascuna estremità s'incontrarono gravi difficoltà nell'affondare più cassoni per la costruzione di una pila, cosicchè si stabilì in altri simili casi di usare un solo cassone su ciascuna pila, nel fondare le altre pile si resero solidali i diversi cassoni riunendo le loro pareti in contatto con chiodi ribaditi e ponendoli in comunicazione mediante aperture in esse praticate.

Il sistema di fondazioni ad aria compressa con cassoni, dopo la costruzione del ponte di Kehl venne applicato in molti altri importanti lavori, fra i quali basta citare il ponte sul Varo, quello sul Po presso Piacenza per la strada ferrata da Milano a Piacenza, e quello attualmente in via di esecuzione sul Po presso Mezzanacorti per la strada ferrata da Voghera a Brescia.

Ecco come s'applica il sistema di fondazione ad aria compressa con cassoni. Stabilito il ponte di servizio per l'impianto degli apparecchi, macchine ecc. ed il palco poco al disopra del livello dell'acqua, messo assieme il cassone in posizione tale da poter servire come di zoccolo per sopra elevarvi l'opera murale che esso deve sostenere. Questo cassone con base eguale alla sezione orizzontale di detta opera in muratura, in forma di lastre di ferro unite fra loro da chiodi ribaditi a caldo ed aventi ordinariamente la grossezza di 0^m,012; il suo cielo si costituisce con due lastre orizzontali poste a distanza di circa metri 0,60 rinforzate da lastre verticali alle prime collegate mediante ferri d'angolo, onde formare un sistema cellulare solido ed inflessibile affinchè possa reggere i grandi pesi che sopra vi debbono gravitare. Le pareti laterali del cassone, cui ordinariamente suolsi assegnare un'altezza di circa metri 2, 80, si consolidano e si uniscono al cielo mediante forti nerbature stabilite nell'intento di rendere le detti pareti atte a sostenere le grandi

spinte, a cui necessariamente dovranno trovarsi sottoposte nel progresso del lavoro di affondamento. Il cassone che come già si è detto, dev'essere senza fondo, ha il suo cielo attraversato da tre fori circolari coi loro centri nell'asse di maggior lunghezza, il foro di mezzo ha ordinariamente circa 2 metri di diametro, e gli altri due che si trovano ciascuno a circa $\frac{1}{4}$ della massima lunghezza del cassone hanno diametro assai minore e non eccedente 1^m.

All'atto in cui si forma il cielo del cassone si riempiono con calcestruzzo i vani o celle che in esso rimangono e dopo lo stabilimento delle nervature che servono a consolidare le pareti laterali, a mo' di archi si pongono delle lastre da ferri d'angolo, e si costituisce della buona muratura fra queste ed i risalti inclinati nelle nervature. Preparato il cassone nella parte superiore della sua parete laterale ed in prosecuzione della parete medesima si attacca un giro di lastre di ferro aventi comunemente lo spessore di metri 0,004 ed una tale altezza che discendendo il cassone nel terreno sommerso, non vengano le acque a versarsi al disopra del suo cielo e sui tre fori di cui sopra si è fatto cenno, si elevano dei convenienti tubi con altezza non minore di quella ultimamente indicata, formati con anelli di ferro laminato da 1 a 2 metri dello spessore di circa 0^m,012 e ben inchiodati o inchiodati sui risalti interni di cui vanno forniti. Dopo questo, stabilito sul ponte di servizio le macchine necessarie ad abbassare il cassone fino a ch'esso raggiunga il letto sottostante, ed aggiunto un conveniente numero di anelli per allungare i tubi già incominciati fino a superare di qualche poco il livello dell'impalcatura del ponte di servizio, il tubo di mezzo attraversando la capacità del cassone deve arrivare fino a circa $\frac{1}{2}$ metro sotto l'orlo inferiore o tagliente del cassone medesimo.

Trovandosi il cassone sul terreno nel quale dev'essere affondato e già avendo subito un certo affondamento per causa del proprio peso, alla lastra che forma la prosecuzione della sua parete laterale conviene attaccare otto aste di ferro colle loro estremità lavorate a vite attraversanti ciascuna una chiocciola a lungo manubrio cui il ponte di servizio somministri uno stabile appoggio. Quest'aste servono a porre e mantenere orizzontale il cielo del cassone.

Sui due tubi laterali destinati a servire come cammini di passaggio si pongono delle camere d'aria, e nel tubo centrale che deve funzionare come cammino d'estrazione si stabilisce la noria che

deve esportare le materie da scavarsi e da estrarsi per l'affondamento del cassone.

Le camere d'aria sono di diametro molto maggiore di quello del cammino, e si fanno funzionare nell'istesso modo accennato per le fondazioni tubulari ad aria compressa.

La noria stabilita nel cammino d'estrazione è formata di due catene parallele, che si avvolgono ad un verricello superiore collocato su una robusta travatura e ad un verricello collocato un po' al disotto del fondo del cammino medesimo; e che portano i secchi a giuste ed eguali distanze l'uno dall'altro. Il verricello superiore e per conseguenza tutto il meccanismo è messo generalmente in moto da una macchina a vapore per mezzo d'una puleggia imperniata nell'albero medesimo del verricello superiore. I secchi sono forati pel passaggio dell'acqua nella quale essi pescono per gran parte del loro cammino. Messe a posto le camere d'aria ed operando per mezzo delle valvole e rubinetti nel modo che già accennammo, gli scavatori, che potranno essere da 8 a 10 in cassone lungo 11 metri e largo 5, discesi incominciano a praticare una specie di bacino in cui peschi il cammino d'estrazione talmente profondo che la noria non venga impedita nel suo movimento, quindi si mettono a scavare terra sia attorno alle pareti del cassone sia in tutto lo spazio da esso coperto, e fanno venire le materie sterrate attorno e sotto il cammino d'estrazione, dove vengono raccolte e portate via da' secchi della scoria posti in movimento.

A misura che l'affondamento avviene si aggiungono lastre ai cammini ad estrazione e ad aria, lateralmente e superiormente al cassone; queste lastre debbono contenere la muratura che man mano si eseguisce nel cielo del cassone stesso. Quando questo ha raggiunto la necessaria profondità; si trova completamente o quasi completamente eseguito il masso murale che esso deve sostenere, ed immediatamente bisogna occuparsi del riempimento del cassone e dei cammini.

Questo riempimento viene generalmente fatto di calcestruzzo pel cammino d'estrazione dal quale s'è tolta la noria e s'è sostituita una gran camera d'aria.

Terminato il riempimento si tolgono le camere d'estrazione lasciando qualche lastra al disopra del livello dell'acqua e si continua la costruzione a farsi.

Allorquando, eseguendo delle fondazioni idrauliche, si rende necessario che taluni operai si portino sott'acqua e che per qualche

ora vi rimangano per l'esecuzione di qualche lavoro, sono allora indispensabili degli opportuni apparati che permettano agli uomini di rimanersi sott' acqua senza essere da questa danneggiati o soffocati.

Tali apparati si riducono principalmente alla *campana da palombaro*, allo *scafandro* ed all'apparecchio del signor Rouquayrol e de' quali per brevità e perchè abbastanza comuni tralascio di dire.

GIO. BATTISTA BONINO.