

G 75

FONDAZIONI IDRAULICHE

DISSERTAZIONE E TESI

PRESENTATE

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

della Regia Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Torino

DA

PIROLA LUIGI

d'ARONA

PER OTTENERE IL DIPLOMA

DI INGEGNERE LAUREATO

1869

TORINO

TIP. C. FAVALE E COMP.

FONDAZIONE LOMBARDA

DISSERTAZIONE E TESI

ALLA FACOLTÀ DI SCIENZE

DELL'UNIVERSITÀ DI MILANO

PIROLA LUIGI

PER OTTENERE IL DIPLOMA

DI INGEGNERE LAUREATO

1888

1888

ALLA CARA E VENERATA MEMORIA
DI MIO PADRE

ALLA AFFETTUOSA MIA MADRE

A VOI
FRATELLO E SORELLA DILETTISSIMI

A VOI
PARENTI ED AMICI
RICORDO D'AFFETTO

FONDAZIONI IDRAULICHE

Lo stragrande sviluppo subito in questi ultimi tempi dalle vie ferrate, non che la celerità con cui esse dovettero venire costrutte, fecero sorgere per l'ingegnere costruttore difficoltà tali, che fino allora o non si conoscevano, o si poterono sempre ovviare. Infatti se nel costruire una via ordinaria era necessario attraversare un fiume o torrente, si costruiva, è vero, un ponte, ma circostanze speciali permettevano di dare alla via curve e pendenze tali, da poterla condurre laddove il passaggio presentava minori difficoltà alla costruzione sua. Nelle ferrovie invece tali curve e pendenze non potendo senza gravi pericoli oltrepassare certi limiti, ne avverrà che non potransi sempre evitare tali difficoltà.

Quindi è che vedemmo aprire immense gallerie, costruire lunghissimi viadotti, attraversare fiumi con ponti edificati con metodi affatto nuovi, suggeriti dalle circo-

stanze speciali del terreno, in breve lasso di tempo insomma furono condotti a termine lavori tali da restare monumenti imperituri della presente generazione.

La costruzione dei ponti in ispecial modo prese uno sviluppo straordinario, superando maravigliosamente ostacoli prodotti da circostanze affatto nuove. Infatti, un ponte col suo sovraccarico, presentando un peso abbastanza considerevole da doversi appoggiare al terreno mediante aree relativamente piccole, sarà necessario che tale terreno non vada perciò soggetto a cedimenti e tanto meno a corrosioni prodotte dalla velocità dell'acqua, cose tutte che seriamente ne comprometterebbero la stabilità. In pratica appunto i terreni su cui si fonda, essendo il più delle volte di alluvione, presentano tale disgregamento tra le particelle che li compongono, da non poter essere assoggettati a forti pressioni.

Quindi è che, a seconda della maggiore o minore grossezza di questi strati, dovranno anche usare metodi tutt'affatto diversi, tali però che in ogni circostanza diano per risultato la stabilità del ponte.

Dal detto si vede come l'argomento delle fondazioni idrauliche sia della massima importanza, e come sia d'uopo che i costruttori ben ne conoscano i principii generali, e che siano al possesso dei sistemi con buona riuscita già posti in opera, e infine che negli svariati casi della pratica si sappiano convenientemente applicare, a seconda delle circostanze che loro si presentano.

La descrizione adunque di questi metodi sarà l'oggetto di questa mia dissertazione, avvertendo però che in essa non parlerò che dei tipi principali che generalmente si adottano, lasciando in disparte i procedimenti speciali che variano, si può dire, per ogni circostanza. Citerò inoltre i casi in cui tali procedimenti furono adottati, ed i risultati che se ne ebbero.

II.

Quando si ha da costruire un ponte, prima operazione si è di tracciare un allineamento per cui deve passare il suo asse, sul quale alle distanze volute si segnano le posizioni rispettive degli assi delle pile e delle spalle. Dovrassi poi tosto procedere allo studio della qualità del terreno mediante *fossi*, o *taste*, o *trivelle*, a seconda delle circostanze, tenendo conto di tutte quelle avvertenze che la pratica suggerisce.

Studiato bene il terreno, si deciderà qual genere di fondazione dovrassi adottare, scegliendo opportunamente quello che, oltre al presentare maggior economia, soddisfa pure alla solidità richiesta dall'importanza dell'opera. Norme generali sono stabilite per tale scelta, fondate sulla maggiore o minore profondità delle acque o del terreno mobile. Comunque sia, esse si possono ridurre alle seguenti:

- 1° Fondazioni con ture;
- 2° Fondazioni con cassoni senza fondo;
- 3° Fondazioni con casseri;
- 4° Fondazioni su castelli di legname;
- 5° Fondazioni con cassoni;
- 6° Fondazioni a platea generale;
- 7° Fondazioni ad aria compressa.

III.

Il più semplice e direi quasi primitivo metodo di fondare le pile e le spalle dei ponti, è quello detto a *ture*.

Esso adottasi con vantaggio quando piccola è l'altezza e la velocità dell'acqua. Consistono le ture in argini artificiali, mediante cui si ciruisce lo spazio su cui devesi fondare la pila o la spalla, in modo da avere come una gran vasca, da cui con appositi strumenti si estrae l'acqua e si mette all'asciutto il fondo sodo. Come si vede, questo procedimento vale solo nel caso in cui il terreno buono trovasi immediatamente alla superficie del suolo o a poca profondità da essa.

A seconda della maggiore o minore profondità dell'acqua, le ture sono di tre sorta. Se l'acqua non supera 1^m,00 allora consistono esse in argini di terra sporgenti d'alquanto sopra il pelo delle acque, presentanti lateralmente due scarpe, il più delle volte, formate secondo il natural declivio delle terre. Se poi l'acqua supera un metro, ma non raggiunge un metro e mezzo, allora più non servono semplici argini in terra, se pure non si vogliono costruire con dimensioni troppo grandi. Sarà quindi più economico diminuire la larghezza della loro base inferiore. A tal fine si ciruisce il terreno con una serie di pali sporgenti dall'acqua, e, riunendo le loro teste con filagne e controfilagne ben inchiavardate, tra queste si piantano a colpi di maglio degli assipali o palanche. Avrassi così un involucro di legname contro cui dalla parte esterna si getta la terra fino a che sporga dall'acqua, presentando alla sua superficie un marciapiede della larghezza di 1^m,50. In tal modo si sarà diminuito l'interro, rendendo meno permeabili all'acqua le ture stesse.

Qualora poi l'acqua superi 1^m,50, insufficiente e troppo spendioso è pure questo secondo metodo; quindi è che ragioni di economia qui pure consigliano di costruire un altro castello esternamente al primo e ad esso in tutto simile, tale però che la larghezza della parte in-

tercetta tra questi due involucri sia press'a poco eguale all'altezza delle acque. Si riempie quindi di terra impermeabile, che si mazzaranga fino a presentare sufficiente compattezza, ed avrassi in tal modo come un muro abbastanza solido per impedire le soverchie filtrazioni delle acque.

Con qualunque procedimento poi si costruiscano le ture, farà d'uopo che la terra, che contra esse si getta, sia impermeabile, ed inoltre che tutto attorno ad esse si faccia una gettata di pietre allo scopo d'impedire all'impeto dell'acqua di arrecare danni alla stabilità delle ture stesse.

Circondato in tal modo il terreno, si estrae l'acqua mediante apparecchi idrovori, suggeriti dalle circostanze, ed allorchè il terreno sarà all'asciutto, si leva lo strato superiore di terra mobile fino a raggiungere il terreno incompressibile. Ridotta la superficie di questo orizzontale, si getta uno strato di calcestruzzo, e si innalza su esso si fonda la pila usando malta idraulica.

Ecco adunque brevemente esposto il metodo generale di fondazioni con ture. Aggiungerò come esso difficilmente soddisfa per altezze d'acqua superiori a 2^m, perciocchè in tal caso la pressione idrostatica prodotta dalla colonna d'acqua potrebbe vincere la resistenza alla permeabilità della terra, e nello stesso tempo cagionare un principio di rovesciamento nelle ture medesime. Quindi è che in tali casi troppo esagerate diverrebbero le loro dimensioni, con grave danno dell'economia a confronto degli altri procedimenti che andrò esponendo.

È appunto dietro tali principii che si gettarono le fondazioni del ponte di Moulins sul fiume Allier, i ponti di Brienne, Saint-Ouen, non che molti ponti italiani, e

per non parlare d'altri, il ponte sul Po presso Valenza, lungo la ferrovia Alessandria-Arona.

IV.

Più spesso usati, e talvolta anche più economici nelle fondazioni, sono i così detti *cassoni senza fondo*. Consistono questi in grandi involucri, or di legno ed or di ferro, aperti alle due basi con dimensioni o circolari, o ellittiche, o mistilinee, o più spesso rettangolari, sempre però tali da presentare la forma e le dimensioni delle fondazioni della pila. Prima di metterli in opera, mediante apparecchi effossori, si prepara il fondo del terreno, levandò cioè dalla sua superficie quello strato mobile che non dovrà presentare grande spessore, e raggiunto il fondo sodo, si spiana in modo da avere una superficie orizzontale.

Costrutto il cassone sulla riva del fiume, ove non presenti un peso stragrande, si carica intero su barche; in caso contrario lo si trasporta a pezzi, che si riuniscono ed inchiavardano prima di immergerlo nell'acqua. Fissato l'asse della pila da costruire, con questo si fa coincidere l'asse del cassone, che caricato di pesi sufficienti, ove ne sia d'uopo, si abbassa entro l'acqua o a braccia di uomini, o con apposite macchine, a seconda del maggiore o minor peso del cassone stesso. In tal modo ben presto raggiungerassi il fondo del fiume, ove avrassi avvertenza di farlo il meglio che si può coincidere col suolo resistente già preparato, ed impedirassi acchè non vengano spostamenti, praticando tutto all'intorno di esso una gettata di pietre più o meno grosse, avuto riguardo alla velocità dell'acqua.

Siamo ora in grado di dar principio alle fondazioni. Qui non è necessario, come nelle ture, il levare l'acqua dallo spazio circuito artificialmente, perchè nel nostro caso il cassone presenta di già le dimensioni e la forma della pila. Quindi, con strumenti appositi, riempio il cassone di calcestruzzo, finchè il livello di questo sia di 0,50 al disotto della superficie delle acque, e potendo quindi con facilità asciugare il rimanente spazio, vi innalzo all'asciutto la muratura, fino a sporger d'alquanto sopra il livello delle medesime.

Il metodo or esposto, tanto comune, torna in generale vantaggioso in tutte le circostanze nelle quali si trova un fondo resistente al di sotto del fango, o della sabbia mobile esistente nei terreni sommersi, ed a profondità non maggiore di 4 a 5 metri al disotto del livello delle acque.

Moltissimi sarebbero gli esempi che potrei citare riguardo a questo genere di fondazioni; osserverò solo come furono adottati su vasta scala nella costruzione del ponte di Saint-Michel a Parigi, in cui i cassoni avevano una lunghezza di ben 38 metri per una larghezza di 6^m,33, ed un'altezza di circa 4^m. Nè infine passerò oltre senza far menzione del famoso ponte costruito a Nogent-sur-Marne, in cui adottaronsi cassoni di lamiera in ferro con dimensioni maggiori.

V.

Partendo sempre dalla divisione fatta dei generi di fondazione, avuto riguardo alla profondità del terreno buono, ecco che tosto presentansi casi in cui esso oltrepassa i 4 ed i 5 metri, sicchè troppo dispendiosi tor-

nerebbero quegli enormi cassoni, e troppo difficili a metterli in opera. Quindi è che in tali casi adottansi le così dette fondazioni con *casseri*.

Come pei sistemi precedenti, consiste qui pure l'operazione nel circuire uno spazio di terreno, colla sola differenza che in questo caso si piantano dei pali tutto all'intorno, l'un dall'altro discosti 1^m,50, di cui si congiungono le teste sporgenti e tagliate allo stesso livello, mediante filagne e controfilagne, ben inchiavardate, e riunendo due loro teste consecutive di queste colla congiunzione *a dente semplice in isquadro*.

I pali dovranno affondarsi fino a raggiungere il terreno sodo, anzi a penetrarlo se è possibile, finchè presentino il voluto rifiuto. Fra queste filagne si piantano degli assi-pali o palanche in modo tale che le loro punte penetrino pure d'alquanto nello strato buono.

Anche qui il più delle volte sarà necessaria una gettata di pietre tutt'all'intorno del castello, avente per iscopo di difenderlo dagli spostamenti che potrebbe subire, prodotti dall'impeto delle acque. Si procede ben tosto allo sterro dello strato mobile, e ciò mediante apparecchi effossori, che potranno anche essere norie allorquando le dimensioni della pila sieno molto grandi, oppure con appositi badili a lungo manico ripiegati nella loro parte inferiore ad angolo retto, ed aventi due sponde laterali perchè non esca la terra.

Al termine dello sterro arriverassi ben tosto, potendosi tal lavoro attaccare in quanti punti si vuole, in ispecial modo quando, come usasi quasi sempre, all'effetto delle norie aggiungesi pure quello dei badili, che, diretti dalla mano dell'uomo, arrivano sempre laddove la noria, stante le sue dimensioni, non può arrivare. Sul fondo sodo ben eguagliato o reso quasi orizzontale s'innalza la fondazione mediante una posa di calce-

struzzo, che, come nel caso delle fondazioni con cassoni senza fondo, dovrà giungere fino ad un mezzo metro al dissotto del pelo delle acque, e infine su esso s'innalza la muratura.

Di un uso frequentissimo è al dì d'oggi tale sistema di fondazioni, e basta visitare le molte e grandi costruzioni che di recente vennero eseguite in Italia, per trovarne numerosi esempi. Con felice successo si adottò sulla ferrovia Torino-Ciriè per costruire il ponte obliquo sul torrente Ceronda, con due luci della larghezza di 12^m. In esso il cassero delle pile ha una larghezza di 5^m,40 ed una lunghezza di 14^m, essendo il terreno sodo appena a 2^m,50 al dissotto del livello delle acque.

VI.

Allorquando circostanze speciali non permettono di poter mettere all'asciutto il terreno su cui si vuole fondare, convenienti torneranno le fondazioni su *castelli di legname*. Acciò si stabilisce un ponte di servizio ladove deve innalzarsi la fondazione, e piantansi i pali in numero conveniente, che poi si segano ad un medesimo livello, che sarà di poco inferiore a quello delle acque magre. Grosse pietre, o meglio del calcestruzzo, riempiranno gli spazi lasciati da questi pali, ed un zatterone vi si poserà sopra in modo, che le intersezioni delle travi longitudinali colle trasversali cadano sulle teste dei pali, ove si fermeranno con caviglie. Per ultimo una piattaforma coprirà i vani lasciati nel zatterone dalle travi longitudinali e trasversali, e su essa si innalzerà la fondazione.

Come si vede, operando in tal guisa si evitano tal-

volta le difficoltà che presentano i grandi sterri, nel mentre che s'ha pure un'opera solida.

Esaminiamo partitamente le avvertenze necessarie per condurre felicemente a termine questo metodo di fondazioni. Prima cosa sarà di trovare qual numero di pali dovrassi adoperare, perchè sostenendo essi l'intero peso del ponte, non avvenga snervamento e tanto meno rottura.

Perciò dico P'' il peso totale, che dovranno sopportare i pali tutti assieme di una medesima pila; R'' la resistenza allo snervamento cui ogni palo può essere soggetto per ogni millimetro quadrato della sua sezione trasversale; n'' un coefficiente di stabilità; V il numero dei pali; r il raggio della sezione trasversale del palo. Tutti i pali assieme presenteranno una resistenza

$$\pi r^2 R'' V$$

ed acciocchè vi sia stabilità dovremo avere :

$$P'' < \pi r^2 R'' V$$

che potrà esprimere con :

$$P'' = n'' \pi r^2 R'' v$$

D'onde ricavo :

$$V = \frac{P''}{n'' \pi r^2 R''}$$

che sarà il numero dei pali necessari per sostenere quel peso.

Da esperienze trovossi che mediamente si può assumere.

$$R'' = 4 \text{ ch. per m.m. } q.$$

$$n'' = \frac{1}{15}.$$

Dividendo l'area di fondazione pel numero dei pali, hassi la distanza a cui essi dovranno essere piantati, la quale non dovrà mai superare metri 1,20, nè mai essere inferiore a metri 0,80. Quanto alle dimensioni di questi pali, regola pratica si è, che il loro diametro sia $\frac{1}{24}$ della lunghezza ma non mai inferiore a metri 0,18. Alla loro estremità inferiore sono foggiate a punta per una lunghezza di ben metri 0,50, ricoperti di una puntazza in ferro onde facilitarne la penetrazione nel terreno, nel mentre che alla parte superiore si stringono con un robusto anello in ferro, per impedire che si spaccino sotto i colpi del battipalo.

Il loro piantamento poi si fa mediante reiterate percosse prodotte da una massa pesante detta *maglio*, che si fa piombare da qualche altezza sopra le loro teste, e che a seconda della sua struttura prende il nome di *battipalo semplice*, *a tiranti* od *a scatto*.

Non mi fermerò a parlare delle diverse specie di magli, che si adoperano ed il diverso modo di manovrarli, non essendo questo il mio assunto; solo avvertirò che il loro peso varia secondo la maggiore e minore compattezza del terreno, e che talvolta arrivano fino a presentare un peso maggiore di 700 chilogrammi.

Ma piantando nel terreno un palo incontrerassi una resistenza: or dunque dai costruttori appellasi *rifuto* la quantità di cui un palo s'affonda sotto la percossa di

un maglio di peso noto, cadente da un'altezza anche nota e per una volata di un determinato numero di colpi. Il rifiuto diminuisce a misura che il palo s'affonda e col crescere della compattezza del terreno, per modo che esiste una relazione inversa tra il rifiuto di un palo e la difficoltà di penetrazione. La conoscenza di questo rifiuto è adunque della massima importanza per ottenere palificate solide; quindi è che dovrei qui far cenno dei metodi con cui esso si trova, ma per non dilungarmi di troppo, mi limiterò a solo esporre le formole, colle quali verrà facilmente determinato.

La prima formola che mi dà questo rifiuto è, si può dire, empirica. Dessa è

$$A R r = \alpha n P a$$

dove A è la superficie della sezione trasversale del palo.

R il massimo sforzo, riferito all'unità superficiale della sezione trasversale, a cui si può assoggettare.

P il peso del maglio.

a l'altezza da cui cade.

n il numero dei colpi dati in una volata.

r il rifiuto cercato.

$\alpha = \frac{1}{86}$ pel rifiuto limite.

L'esposta formola non dà che il rifiuto limite, sicchè il più delle volte tornerebbe insufficiente. Ond'è che recentemente il chiarissimo professore cav. Curioni diede una formola, dalla quale, tenendo calcolo di tutti i lavori motori e resistenti non che della perdita di forza viva prodotta dagli urti, si ricavano risultati esatti, che

danno non solo il rifiuto limite, ma anche il rifiuto in qualunque punto od istante in cui il palo si considera. Mi spiace di non poterne esporre la teoria tanto più che essa è abbastanza ingegnosa ed elegante. La formola finale ridotta è:

$$x = \frac{n a P^2}{(Q + R) (\theta - n P)}$$

dove:

n è il numero dei colpi per una volata.

a l'altezza da cui cade il maglio.

P il peso del maglio.

R il peso totale del palo.

Q il peso che il palo deve portare.

x il rifiuto cercato.

Il metodo di fondazione di cui tenemmo parola in questo numero torna utile ed anzi necessario in tutti quei terreni sommersi, in cui il terreno buono trovasi a grande profondità, potendo i pali approfondarsi fino oltre a 12^m, ed ove sia d'uopo potendosi allungarli. Avvertirò inoltre, come i legnami che in essi s'impiegano vogliono essere di scelta qualità come la quercia, il larice rosso, l'ontano... che non presentino vizii di sorta, dovendo essi resistere sia agli urti prodotti dal maglio, sia alle enormi pressioni prodotte dal peso del ponte.

In fine non porrò termine a questo articolo senza accennare, come talvolta coll'unione dei due ultimi metodi, si può dare luogo ad un processo di fondazioni, che in più circostanze torna di grande vantaggio ed economia. Le fondazioni a *casseri con pali* consistono nel piantare il cassero, e dopo scavato entro questo, piantarvi dei pali, sicchè le loro teste raggiungano più che la metà del cassero. In tal modo essi pali oltre al pog-

giare all'estremo inferiore sul terreno sodo, col loro estremo superiore entrano nella massa del calcestruzzo, dando così luogo ad un tutto ben connesso, da presentare maggior solidità.

Come si vede, con questi due procedimenti convenientemente accoppiati, si possono gettare fondazioni anche laddove il terreno compressibile si trovi fino a 12 e più metri al di sotto del pelo delle acque, purchè le punte dei pali infissi nel cassero lo oltrepassino d'alquanto.

Con casseri e pali furono costrutte le pile del ponte che traversa il fiume Po presso Moncalieri, quelle sul torrente Bormida presso Alessandria sulla linea Torino-Genova, quelle del ponte sul Ticino presso Pavia, sulla linea Milano-Torreberetti e quelle dei principali ponti-canali costrutti lungo il Canale Cavour.

VII.

Un *cassone* impermeabile all'acqua può talvolta servire da fondazione. A tal fine costruisco una specie di tino avente le dimensioni della pila e colle pareti laterali o doghe unite tra loro in modo che oltre all'essere impermeabili all'acqua, si possano all'uopo staccarle sia le une dalle altre, sia dal fondo stesso.

Costrutto e condotto a termine il cassone sulla riva stessa del fiume, a galla delle acque lo si trasporta sul luogo di fondazione, in modo che il suo asse coincida esattamente coll'asse stesso della pila. Mediante pesi lo si fa affondare, ed entro esso si costruisce. Talvolta per peso affondante serve la costruzione stessa, che si va in esso innalzando. Come tosto si vede, è necessario che il fondo del cassone poggi sopra un terreno solido, e che inoltre questo si trovi immediatamente alla superficie.

Ond'è che stante tale esigenza il suo uso non sarebbe applicabile se non in rarissimi casi e tutto affatto eccezionali. Si ovvia però a ciò col fondare una conveniente palificata là dove deve poggiare il cassone; con seghe apposite si tagliano i pali al medesimo livello, e tra essi si gettano pietre a secco o meglio calcestruzzo, e sopra con accurata diligenza si poggerà il cassone.

Non è mestieri l'avvertire come l'orlo superiore del cassone debba sporgere d' alquanto dall'acqua, perchè in caso contrario questa entrando nel cassone impedirebbe i lavori. Stabilitolo adunque con cura, gli operai vi entrano per dar corso alla fondazione. Uno strato di buon calcestruzzo, coprendo il fondo, formerà come una lega tra la massa murale ed il legno, in modo da formarne come un solo solido, impedendo così gli scorrimenti trasversali. Il masso murale quindi si innalzerà sovra esso fino a sporgere dalle acque.

Quando poi il costruttore giudicherà che il calcestruzzo possa completamente aver fatto presa, il che avviene in poco tempo, allora non ha che a levare le pareti laterali del cassone, le quali unite ad un nuovo fondo possono servire alla fondazione di un'altra pila.

Dovendo poi il fondo del cassone sopportare pesi enormi, sarà necessario che sia così ben resistente da non presentare cedimenti. Una robusta intelaiatura, costituita da travi perimetrali e da travi trasversali uniti tra loro a maschio e femmina, appoggiati sulle teste dei pali, ove questi ci sono, nonchè da tavoloni uniti ad incanalatura e linguetta, può soddisfare alla solidità richiesta. Le sponde sono composte di ritti piantati nelle travi perimetrali del fondo, ed è da scanalature praticate in essi ritti che sono ritenuti i tavoloni orizzontalmente disposti per lunghezza e fermanti le pareti del cassone.

I ritti opposti poi sono a due a due rilegati tra loro,

all'estremità superiore, da travature o catene orizzontali, che mantengono unito tutto il sistema. Dette catene sono attraversate alla loro estremità da tiranti in ferro verticali, che, attaccati in basso ad un uncino, sono superiormente tesi mediante una madre vite. In grazia di questa disposizione, una volta che il cassone abbia servito per innalzare la costruzione murale fin sopra il pelo delle acque, togliendo le madre viti si possono levare le catene orizzontali e quindi le sponde laterali lasciando solo il fondo.

Nelle ordinarie circostanze i ritti, le catene e le travi del fondo hanno uno spessore da 0,20 a 0,35, mentre i tavoloni avranno uno spessore da metri 0,08 e metri 0,12.

Sono opere rimarchevoli in cui vennero impiegate le fondazioni con cassoni, il ponte di Westminster, i muri di riva del porto di Tolone e molti altri lavori nei quali però tutti si pose il fondo del cassone sopra un semplice letto naturale di materia soda. Al De-Cesart si deve il merito di aver realizzato pel primo l'idea di costruire cassoni su palificate, all'occasione di erigere il ponte di Saumur. Dietro il buon successo di questo si fondarono i ponti di Austerlitz, Jena ed Ulma e molti altri dei giganteschi ponti stati costrutti in questo secolo, la cui enumerazione riescirebbe eccessivamente prolissa.

VIII.

Dai procedimenti, che venni finora esponendo e descrivendo nel corso di questa dissertazione, facilmente si vede, come essi tutti si fondano sulla maggior o minor gros-

sezza dello strato compressibile, e che valgono solo quando questo sia tale da potersi con mezzi meccanici attraversare. Ora nella pratica avviene talvolta di dovere costruire ponti sopra terreni di sedimento, che perciò presentano alla loro superficie uno strato melmoso estremamente compressibile fino a grande profondità. I metodi descritti finora più non valgono e bisognerà quindi ricorrere a procedimenti speciali.

Lasciando a parte i metodi di costipamento con pali, mazzaranghe, pietre, che pure alcune volte tornano utili ed economici, mi limiterò alla fondazione così detta a *platea generale*, che serve in tutti i casi, per quanto sia compressibile e profondo lo strato cattivo.

Le platee generali si fanno circuyendo la superficie in cui devono essere stabilite le pile, mediante paratie di cinta, scavando nello spazio così limitato il terreno contenuto, onde prepararsi una corsa a fondo orizzontale, gettando in essa uno strato di calcestruzzo sufficientemente alto, fin quasi a raggiungere il livello delle acque e coprendole ben soventi con uno strato di grosse pietre. La base poi su cui poggia la platea deve essere il più che possibile estesa: quindi è che non basta, che essa sia in coincidenza colla proiezione orizzontale del ponte o delle pile, ma deve pure sporgere a monte ed a valle di una maggior o minor quantità, avuto riguardo alla compressibilità del terreno. Grosse gettate di pietre presentanti sufficiente volume, il più delle volte artificiali difenderanno la platea dai fiotti e dall'impeto delle acque correnti.

Nel caso poi in cui il terreno sia molto compressibile, sarà bene, eseguito lo sterro, il renderlo il più che si può sodo mediante artificiale compressione con mazzaranghe, comprimendovi assieme anche delle pietre. Meglio sarebbe costipare questo terreno mediante pianta-

mento di pali colla testa all'ingiù. Ma il loro impiego sarebbe troppo costoso.

Quanto poi alla posa del calcestruzzo, giova avvertire, che essa si fa per strati di metri 0 20, e la sua altezza deve essere tale da non essere soggetta a spezzarsi sotto il peso che deve sopportare, qualora in qualche punto venisse a mancar il terreno sottostante, e nelle acque agitate dovrà raggiungere quella profondità per cui non sono più temibili escavazioni mediante opportune gettate di difesa. Le platee generali convengono ed offrono un modo sicuro di fondazioni sopra terreni cedevoli a motivo del riparto di pressione su ampia base, e sopra fondi incompressibili non abbastanza tenaci per resistere alla forza escavatrice delle acque in moto, quali sarebbero quelli di arena e di ghiaia.

Talvolta alla platea si dà una forma tale, che il piano passante per l'asse del ponte la tagli secondo una curva, che in generale è un arco di circolo a raggio molto lungo. In tal modo la platea costrutta, presenta la forma di una volta rovescia, che poggia col suo estrados sul terreno: è però da avvertire che questo estrados presenterà una supercie orizzontale o tutto al più portante due denti o talloni in vicinanza delle paratie, e ciò, quando la forza dell'acqua tende a far scorrere la platea sul terreno compressibile. Se poi la velocità delle acque è considerevole, potendo essa corrodere la superficie superiore della platea, questa si rivestirà di pietre grossolanamente riquadrate, aventi però la loro superficie superiore bastantemente piana e fissata nelle masse del calcestruzzo.

Nella fondazione del ponte di Ain lungo la linea ferroviaria da Lione a Ginevra, si stabilì una platea di calcestruzzo estendentesi per metri 3,50 a monte, e per metri 8 a valle, al dissotto dei fianchi della proiezione oriz-

zontale del ponte. Questa platea, foggata a guisa di cerchi rovesci alla superficie, è coperta di un suolo di pietre alte metri 0,50; sia lo spessore di metri 1,70 sotto le pile, di metri 0,90 in corrispondenza del mezzo degli archi, ed a valle trovasi rinforzata da un tallone alto 1 metro. Nella costruzione del ponte sul fiume Vomano per la ferrovia lungo il litorale Adriatico si adottò pure una platea di calcestruzzo alta 1,30 sotto le pile, ed 1 metro in corrispondenza del mezzo della luce del ponte, e rinforzata in a monte ed in a valle da talloni alti rispettivamente 1 metro e 2 metri. Sono pure a platea generale le fondazioni pel ponte per ferrovia che traversa la Nura, non che del lunghissimo ponte di Valenza sul Po già altre volte citato.

IX.

Accadde in questi ultimi tempi di dover costruire ponti con dimensioni straordinarie, pel passaggio dei convogli ferroviarii, con condizioni tali di terreno da rendere insufficienti i mezzi fino allora conosciuti, o da non poterli adoperare trovandosi a fronte di enormi spese, in cui, sobbarcandosi le società costruttrici, non avrebbero trovato il loro conto. Infatti dovevansi attraversare fiumi con larghezze di più centinaia di metri sopra un letto costituito di argilla, molli, o di sabbie alla cui profondità o non si sapeva prescrivere un limite, o questo era tale da non potersi raggiungere coi mezzi ordinarii di fondazione. Ciò diede origine a grandi studii per parte degli ingegneri delle società cointeresate, aventi di mira la diminuzione del numero delle pile, ed il modo di poterle maggiormente affondare. La

prima difficoltà si sciolse costruendo quegli immensi ponti tubulari con luci talvolta maggiori di 100 metri, limiti cui fino allora non s'era giunto. Alla seconda si trovò pure una soluzione altrettanto elegante quanto ingegnosa colle fondazioni ad *aria compressa*.

Già fino dal 1841 l'ingegnere Friger si servì nelle miniere di Chalonnès di grandi colonne tubulari, dalle quali coll'aria compressa scacciava l'acqua, per quindi estrarre il carbon fossile. Questo processo non fu applicato se non nel 1851 dall'ingegnere Hughes per le fondazioni del ponte di Rochester. I felici risultati avuti furono tosto seguiti in Francia e per conseguenza anche in Italia, sicchè le fondazioni ad aria compressa sono al dì d'oggi di un uso comunissimo.

Lasciando in disparte le *fondazioni tubulari ad aria compressa*, non permettendo la ristrettezza di questo lavoro di trattenermi, parlerò solo delle fondazioni ad aria compressa mediante *cassoni*, come metodo quasi esclusivamente usato, presentando sul primo molti vantaggi.

Costrutto, nel luogo su cui si vuole fondare, un ponte di servizio, vi si costruisce sopra il cassone in posizione tale da poter servire come di zoccolo per elevarvi l'opera murale che esso deve sostenere. Il cielo del cassone dovrà presentare una solidità sufficiente per poter sostenere la pila, oltre a tre fori muniti di tubi fermati con anelli di ferro ben inchiodati ed inchiodati aventi un'altezza di circa 2 metri. Dopo ciò, stabiliti sul ponte di servizio gli apparati di cui vuolsi trarre partito per abbassare ed innalzare pesi, ed affidato il cassone ai detti apparati mediante funi o catene, si toglie il palco su cui esso poggia e gradatamente si abbassa fino a toccar il fondo. Si dà quindi mano ad allungar i tubi finchè col loro orlo superiore sporgano d'alquanto dal

livello delle acque ; e mentre i due laterali più piccoli terminano inferiormente contro il cielo del cassone , quello di mezzo deve arrivare fino a circa mezzo metro sotto l'orlo inferiore o tagliente del cassone.

Fermato il cassone tra 8 guide perchè non devii dalla verticale, sopra i due tubi laterali si pongono due *camere d'aria* e nel tubo centrale, che deve funzionare come *camino di estrazione*, si stabilisce la noria che deve esportare le materie scavate. Ciascuna camera d'aria consiste in un cilindro del diametro di due metri , formata in lastra di ferro, e raccomandata al camino mediante una parte foggiate a tronco di uno. Esse sono munite di rubinetti e di grandi valvole o portine.

Supponiamo che il cassone ed i due tubi cilindrici sieno già ripieni d'aria compressa , e che un operaio debba introdursi nel cassone. L'acqua da questo sarà sfuggita in virtù della pressione prodotta dall'aria compressa, ed, ove la colonna d'acqua esterna non sia tanto grande, il fondo rimarrà all'asciutto. Per entrarvi l'operaio chiude ogni comunicazione fra la camera d'aria ed il cilindro sottostante , e quindi apre un rubinetto che mette in comunicazione la camera d'aria coll'atmosfera. L'aria compressa che trovavasi nella camera d'aria si scarica nell'atmosfera , finchè l'aria che trovasi nella camera ha la stessa tensione dell'aria atmosferica. Allora la valvola a battente aprentesi dall'alto al basso stabilita nel cielo della camera d'aria si aprirà nel mentre che l'altra posta nel diaframma orizzontale , che divide la camera d'aria dal camino per la maggior pressione dal basso all'altro si chiuderà.

Può allora l'operaio entrare nella camera d'aria, dove giunto chiude la valvola superiore e mediante l'apertura di un rubinetto, che ivi si trova, mette la camera d'aria in comunicazione colla macchina di compressione. Quando

la tensione nella camera uguaglia quella dell'aria nel camino, la valvola inferiore sopportando su ambe le facce la medesima pressione cederà al proprio peso e si aprirà. Potrà quindi l'operaio per questa apertura discendere nel camino e quindi nel cassone fin sul fondo del fiume.

Come si vede adoperando queste avvertenze il camino ed il cassone non sono mai messi in comunicazione coll'aria atmosferica, e quindi sarà impedito all'acqua di sollevarsi nel loro interno, mettendo a pericolo la vita degli operai che vi lavorano.

In tal modo, introdottosi nel cassone un numero sufficiente di operai, si dà principio all'escavazione. Il tubo di mezzo o camino d'estrazione, come dicemmo, trovandosi approfondato per ben mezzo metro nel terreno, non risentirà l'azione dell'aria compressa che agisce nel cassone. Quindi in esso l'acqua si innalzerà ad una altezza tale da eguagliare il livello dell'acqua esterna. Tutto all'intorno alla sua parte inferiore praticasi una specie di bacino, sicchè la sua profondità raggiunga il tagliente inferiore. Ove la pressione dell'aria compressa sia ben regolata l'acqua entrerà in questo bacino sino ad un livello d'alquanto inferiore a quello del fondo del fiume, e la colonna d'acqua sarà equilibrata dall'aria compressa, sicchè non vi sarà comunicazione tra il cassone e l'atmosfera esterna. Altra operazione non rimane a farsi che lo scavare tutto all'intorno del cassone, e nello spazio da esso coperto, e gettare così le materie scavate nel bacino di mezzo. La noria, che è messa in movimento nel tubo d'estrazione, porterà via i materiali che incontra e trasportandoli in alto li verserà in un apposito scaricatore.

Ma la pressione nell'interno del cassone superando l'atmosferica tenderà a farlo sollevare; quindi è che sarà

necessario, caricandolo superiormente di un peso, che equilibri, anzi superi assieme al cassone la pressione dal basso all'alto. Perciò prima d'immergere il cassone nell'acqua, si costruisce sul suo cielo muratura che deve servire di pila alta in modo, che quando il cassone poggia sul fondo o vi penetra, la sua superficie superiore sporga d'alquanto dal livello dell'acqua. Scavando gli operai al di dentro il cassone spinto da questo peso, e non trovando sostegno contro il suo tagliente inferiore, si affonderà. Una squadra di muratori continua la costruzione della pila a seconda degli affondamenti del cassone, e si verrà così costruendo la pila.

Nel detto affondamento anche i camini s'abbasseranno, sicchè la camera di compressione ben presto pescherà nell'acqua. Allora sarà necessario allungarli. Perciò usciti gli operai scavatori, mediante valvole, che trovansi ove i camini si fissano al cassone, si intercetta la comunicazione tra i camini ed il cassone, e si dà esito all'aria compressa posta superiormente a dette valvole, e, levate le camere d'aria, si aggiunge, mediante inchiodamenti ed inchiodamenti quel numero d'anelli riconosciuto necessario, dopo di che, rimesse a posto le camere, si comprime di nuovo l'aria nei camini allungati.

Allorquando il cassone ha raggiunto la profondità voluta, si cessa l'escavazione, ed essendo la pila sovrastante ad esso condotta a termine si procede al riempimento suo. Tolta la noria, s'adatta sopra il camino d'estrazione una camera d'aria, nella quale fatta entrare aria compressa, questa spinge fuori l'acqua dal camino sottostante, di cui si leva la parte intercetta tra il cielo del cassone ed il suolo. È per essa che si introducono nel cassone i materiali da costruire. Perciò, caricate convenientemente le valvole superiori di calcestruzzo, si

mette in comunicazione la camera d'aria coll'atmosfera; esse tosto si apriranno, lasciando passare il calcestruzzo, che fermerassi entro la camera stessa. Chiuse le valvole superiori, e messa in comunicazione la camera colla macchina premente, le valvole inferiori si apriranno, ed il calcestruzzo cadrà entro il cassone, ove gli operai lo uguagliano bene a strati orizzontali, finchè il cassone sarà completamente pieno. Dopo di che, fissate le tre camere d'aria con apposite travi si leveranno gli anelli dei camini, che s'adoperano poi per altre circostanze. L'acqua entrerà ben tosto mediante filtrazioni, e si scaccia, riempiendo quei tre fori con calcestruzzo, che verrà gittato a sito mediante secchie a fondo mobile e la pila sarà completamente costrutta.

Ecco adunque brevemente descritto il procedimento di fondazioni ad aria compressa; aggiungerò ancora alcune norme sancite dalla pratica, senza delle quali l'ingegnere costruttore potrebbe talvolta andare incontro a gravi difficoltà, esponendo oltre a ciò a certo pericolo la vita degli operai, che solo fidandosi nella scienza di lui si accingono ai lavori.

Anzitutto credo necessario di avvertire, come dovressi mettere al di fuori di ogni camera d'aria un assistente intelligente, che regoli i rubinetti d'immissione e d'emissione dell'aria compressa, suggerendo agli operai che vi discendono quelle avvertenze necessarie, onde evitare qualsiasi pericolo specialmente nella pronta chiusura delle valvole inferiori, ove queste non sieno automatiche. L'ingegnere inoltre dovrà regolare convenientemente la tensione dell'aria compressa, perchè diminuendo essa non entri acqua nel cassone, e crescendo non metta in comunicazione immediata il cassone colla camera d'estrazione, potendo da ciò derivare triste conseguenze. Lo spessore in fine della lamiera costituente

le pareti laterali del cassone, gli anelli dei camini, e la camera d'aria, deve essere sufficiente, il primo per sostenere l'intera pila, e gli altri la differenza di pressione dall'interno all'esterno.

Essendo poi incomodo il lavorare sotto forti pressioni, che talvolta giungono fino a 3 atmosfere assolute, gli operai scavatori non possono durare lungamente al lavoro, e generalmente conviene farli lavorare 2 volte ogni 24 ore e per ore 4 ciascuna volta. La luce necessaria entro il cassone si procura mediante finissime candele steariche, che furono riconosciute come quelle che meglio s'addicano, stante la rapidità di combustione prodotta dalle forti pressioni. L'aria compressa infine è somministrata da una locomobile, e sarà quindi necessario unirle un apposito serbatoio; onde non interrompere il lavoro quando la locomobile, per guasti in essa che potrebbero avvenire, più non funzionasse. Elevandosi la temperatura dell'aria compressa fino a 40°, o 50°, sarà pure indispensabile farla passare, prima d'immetterla nel cassone, per un refrigerante consistente in acqua fredda, che si rinnova in modo continuo.

Quanto poi al cielo del cassone, dovendo sopportare un peso enorme, bisogna sia ben solido riunendolo alle pareti laterali mediante forti nervature, e talvolta costruendo tra essi un volto poggianti contro appositi speroni sporgenti dalle pareti stesse.

Il primo ponte costruito con fondazioni ad aria compressa ed a cassoni, fu quello di Kehl sul Reno, diretto dagli ingegneri Fleur-Saint-Denis e Weiler, per conto dei governi Francese e Badese. È desso sostenuto da due spalloni e quattro pile, che discendono a 22 metri sotto il pelo delle acque medie. Prese quindi gran voga questo genere di fondazioni, stante l'economia che presenta quando deve essere usato

su vasta scala, e, per più non parlare dell'estero, fu adottato più volte anche in Italia. Luminosi esempi ci presentano i ponti di Mezzana-Corti e di Piacenza. Parlando del primo, ha esso una lunghezza di metri 763,05, ed è sostenuto da due spalloni laterali, e da 9 pile intermedie, distanti l'uno l'altro di metri 72,50. Le sue fondazioni si spingono dai 18 fino ai 21 metri sotto la superficie del suolo, e pei soli cassoni si impiegarono 1211 tonellate di ferro. In esso si usarono 4 camini per ciascuna pila, ed ogni cassone aveva la lunghezza massima di 15 metri, la larghezza di metri 5,60 e l'altezza di 2,70. Il ponte di Piacenza sul Po presenta una lunghezza di metri 577,80, ed è ripartito in 8 campate di cui ciascuna delle due estreme misura metri 62,10 con luce libera di metri 59,40, mentre le intermedie misurano metri 75,60 con luce libera di metri 72,90. Le fondazioni delle pile si spingono fino a 18 metri sotto le acque magre. I cassoni impiegati furono a base rettangolare coi lati di 5 metri, e metri 11,90 per le spalle, e per le pile con lunghezza massima di 11 metri e larghezza di 5 metri.

PIROLA LUIGI.

TESI LIBERE

MECCANICA APPLICATA ED IDRAULICA.

Efflusso di un liquido da un vaso per mezzo di una
luce armata da brevi tubi cilindrici.

MACCHINE A VAPORE E FERROVIE.

Spessore della lamiera delle caldaie a vapore.

COSTRUZIONI CIVILI IDRAULICHE E STRADALI.

Risvolte circolari. — Metodo delle seganti.

GEOMETRIA PRATICA.

Riduzione degli angoli al centro di stazione.

TECNICA APPLICATA ED IDRAULICA

Trattato di idraulica ed idraulica applicata
con esempi di calcoli e disegni

MACCHINE A VAPORE E ELETTRICHE

Trattato di macchine a vapore e elettriche
con esempi di calcoli e disegni

COSTRUZIONI CIVILI IDRAULICHE E STRADALI

Trattato di costruzioni civili idrauliche e stradali
con esempi di calcoli e disegni

GEOMETRIA PRATICA

Trattato di geometria pratica
con esempi di calcoli e disegni