

L'INGEGNERIA CIVILE

E

LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO QUINDICINALE

Si discorre in fine del Fascicolo delle opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori od Editori.
È riservata la proprietà letteraria ed artistica delle relazioni, memorie e disegni pubblicati in questo Periodico.

COSTRUZIONI MARITTIME

SUI MOVIMENTI DEL MARE
E SUL COMPLETAMENTO DELLE DIFESE FORANEE
NEL PORTO DI NAPOLI

Napoli, 1° marzo 1900.

Ornatissimo Ingegnere Prof. SACHERI,
Direttore dell'« Ingegneria Civile »

TORINO.

Ecco già trascorso un anno dall'invito che Ella mi faceva, con gradita lettera, di riassumere in un articolo l'importante Memoria dell'ingegnere del Genio Civile, signor Coen Cagli, pubblicata nel volgere del 1898 dal « Giornale del Genio Civile, sul tema: *Sui movimenti del mare e sul completamento della difesa foranea nel Porto di Napoli*. Più cortesemente ancora, Ella metteva a mia disposizione il suo Periodico tecnico per rispondere a taluni appunti, fatti al sistema da me propugnato con lo scritto del 1897 dal titolo: *Il Porto di Napoli ed il suo avvenire*, che ebbe ospitalità nel Periodico medesimo ai primi del 1898.

Non potevo che essere lusingato dell'invito e chiedo scusa per il tempo che ho lasciato trascorrere, non ostante l'interesse, che mi animava, di dileguare l'impressione, che a prima giunta fa la parte critica dello scritto dell'ing. Coen Cagli. Infatti, il dissenso fra le opinioni del Cagli e le mie è soltanto apparente, e risulta, più che dalla sostanza, dalla diversa maniera di spiegare taluni fenomeni del moto ondoso in generale, ed in particolare di quelli che appaiono nel bacino portuale di Napoli; mentrèchè la parte sostanziale delle conclusioni del Cagli è consentanea alle idee da me esposte e che mi fecero propugnatore del sistema avverso a quello, che dapprima pareva accolto dal Ministero dei Lavori Pubblici.

D'altronde, non solo per lo studio in genere delle discipline d'idraulica marittima, quand'anche per lo scopo diretto al Porto di Napoli, l'argomento non è privo d'interesse, nè ha perduto di opportunità, perchè la difesa foranea del Porto di Napoli non è allo stadio esecutivo, ed è ancora discussa. A proposito l'ingegnere comm. Zainy, già Ispettore del Genio Civile, ha pubblicato testè una seconda importante Memoria, con la quale si dichiara contrario all'ultimo progetto governativo, invocandone la revisione.

Mi compiacchio quindi che mi sia dato ritornare sul tema, sia per rispondere all'invito di Lei, sia per definire i limiti ben precisi, fra i quali ora si agita il dissidio, sia infine per portare ancora un lieve contributo alla migliore soluzione d'un interesse locale di tanto rilievo.

La prego accogliere i miei ossequii.

Suo dev. Prof. GAETANO BRUNO.

Sui movimenti del mare
e sul completamento delle difese foranee
nel porto di Napoli

Seconda Memoria dell'Ing. Prof. GAETANO BRUNO

I. — RAGIONI E STATO DELLA QUESTIONE.

I. — Sotto lo stesso preciso titolo l'ingegnere del Genio Civile, signor Coen Cagli, dell'Ufficio di Napoli, pubblicò nel n. 10-11 dell'anno 1898 del giornale « Il Genio Civile », una Memoria molto interessante, poichè, nel trattare il tema delle più opportune opere a fare per la completa difesa foranea del Porto di Napoli, pubblica una raccolta di rilievi e di osservazioni di fatti (registrati circa in un ventennio), di deduzioni ed opinioni diverse, sugli effetti e sulle fasi del moto ondoso nei pressi e nell'interno del Porto di Napoli, sotto l'influenza d'indicati venti e mareggiate, ed espone altresì proprie osservazioni e commenti, formando un corredo utilissimo agli studi di idraulica marittima in genere e necessari alla discussione del soggetto occasionale.

L'autore pone in precisi termini gl'inconvenienti dello stato attuale delle cose, che sono causa di disturbo alle operazioni commerciali e di danno al materiale mercantile e militare, sebbene eventualmente.

Su di ciò è bene intendersi, imperocchè, come, nei tempi lieti le sventure si obliano, così, a mare calmo, si dimenticano i danni delle tempeste!

Facendosi maggior luce sui fatti nocivi e sulle origini loro, si acquista la guida migliore nelle discussioni, onde si possa concludere sulla scelta, fra le varie proposizioni fatte, per assicurare, senza creare influenze nuove e cattive, la difesa foranea del Porto di Napoli.

È stato pertanto colmato un vuoto con parola ufficiale, vuoto che si manifestò nelle ultime discussioni di privata iniziativa ed anche in quelle collettive. La questione, infatti, fu anche trattata in seno al Collegio degli Ingegneri, ma non ebbe uno svolgimento largo e fondato, mancò, direi quasi, la base di operazione: nè la Commissione a ciò delegata si fece compito di cercarla.

Va dunque elogiato il Cagli di avere compilata una pregevole, quanto utile pubblicazione, e ne va fatto plauso al suo Capo che l'ha permessa.

Prima di riassumere quanto nell'estesa Memoria è trattato, mi pare opportuna cosa per i lettori di questo periodico dire succintamente dello stato delle cose e della questione, pur ricordando quanto esponemmo nell'articolo: *Il Porto di Napoli ed il suo avvenire*, pubblicato in questo stesso giornale, nel n. 2 del Volume XXIV, 1898, allorchè ci facemmo a propugnare ulteriori studi.

Per ben intendere tutto ciò che si esporrà giova aver presente insieme le fig. 34 e 35.

Nella precedente nostra memoria è descritto lo stato attuale del Porto di Napoli, costituito, in sostanza, dal lungo molo rettilineo S. Vincenzo, specificato per occidentale o di sopravvento (con direzione W 178 W-N — E 178 E-S), che in circa 40 anni è stato successivamente esteso nella lunghezza di 1000 metri al di là della rientranza, che terminava il più antico tratto, quello a difesa del Porto Militare e ridossante il bacino di carena, che fu costruito nel 1852 (vedi fig. 34). Tale molo è ora terminato con una testata formante verso l'interno un breve martello, e corroborata esternamente da

scaglionata di massi artificiali, più ricca che non sia in tutta la distesa del molo.

Il Porto è chiuso da sottovento in direzione N-S da un molo orientale, che è rettilineo per metri 600, indi torce verso fuori con un tratto curvilineo, lungo metri 200, ed all'estremo della parte retta si distacca verso l'interno un molo, detto *a martello*, lungo m. 250.

Separa il Porto Militare dal Porto Commerciale l'antichissimo molo Angioino col braccio che piega in direzione S-W - N-E, denominato S. Gennaro, fronteggiante l'antiporto: questo si estende quindi fra i moli S. Vincenzo e le due diramazioni del molo orientale, il curvilineo cioè e quello a martello, presentando l'imboccatura larga m. 640 fra la testata del San Vincenzo e l'estremo del curvilineo, esposta perciò alla mediana diretta E-1¼ N; il passaggio al Porto Militare, fra la murata del bacino di raddobbo ed il molo S. Gennaro, resta quasi egualmente orientato con apertura di m. 260; ed il passaggio al Porto Mercantile, fra il S. Gennaro e la testata del molo a martello con orientazione da S-1¼ E, è di m. 380 di larghezza.

All'avamposto quindi ed al Porto Militare vanno direttamente i marosi del primo e del secondo quadrante, ed al Porto Mercantile vanno quelli da E a S-E. Ma ambedue tali specchi interni sono esposti ai moti derivanti da S non meno che a quelli da S-W, che, girando al largo, sono riflessi in direzione S-E ad E, o che si maneggiano lungo il S. Vincenzo.

Ampia è quindi l'azione dei marosi, che si espandono nel bacino dell'antiporto, investendo le opere e particolarmente la fronte della calata San Gennaro e delle altre più interne, dal che, con moto di risacca e per effetto di riflessioni, le ondulazioni molestano i bacini acquei interni. Quello mercantile, ben inteso, è molestato vieppiù dall'investimento diretto da scirocco che può produrre, allorchè forte, danni e pericoli.

Di siffatte influenze ed inconvenienti e dei loro particolari, rispetto agli approdi ed alla sicurezza del naviglio e delle operazioni commerciali, è parlato nella succitata nostra Memoria e si dirà in seguito, nel riassumere quanto ne scrive l'Ufficio del Genio Civile.

Certa cosa è, che una meno incompleta difesa dell'antiporto e degli interni bacini acquei è desiderata, per cui il Ministero dei Lavori Pubblici fu nel 1896 sul punto di ordinare il prolungamento, ripiegato per E-1¼ N, del molo S. Vincenzo, e per metri 240 di lunghezza, non ostante la critica mossa su tale proposito da taluni componenti della Commissione permanente pei lavori marittimi.

Fu allora che, per provocare la pubblica discussione, con alcuni articoli dapprima e poi con pubblica conferenza, che dette origine alla Memoria già citata del 1898, trattammo abbastanza largamente il tema, sotto il duplice aspetto però, dell'insufficienza della difesa col prolungamento proposto del molo S. Vincenzo, nonostante l'importo di grande spesa, e della convenienza di una difesa orientale, che potesse quasi chiudere il Porto ad oriente, traendone anche buon partito economico. Infatti, l'opera da noi proposta, consistente in una diga in direzione N-S, distante m. 500 all'incirca dal molo orientale (vedi fig. 34), da costruire in fondali moderati, fra m. 10 e 25, avrebbe risparmiata la diga di recinzione, necessaria a formare la darsena del bacino di carenaggio. Ma, non ostante la dimostrata opportunità economica ed il vantaggio nautico e commerciale per lo specchio d'acqua che restava disponibile all'avamposto, non si volle soprassedere dagli ordini già dati per eseguire quella diga di recinzione, allorchè si era ancora in tempo per vagliare la convenienza di questa o altra modalità conducente allo stesso fine.

Invece ora la diga pel bacino è costruita, così come è indicata nella stessa fig. 34, e ce ne consoliamo, plaudendo che alfine si costruisca anche il bacino: infatti « l'opera » è appalata e fra breve sarà solennemente inaugurata.

Per chi volesse avere cognizione completa dello svolgimento degli studi pei bacini da carena, nel primo nostro succitato scritto troverà estese notizie.

Rileviamo intanto, che allo stato attuale, una parte dello specchio d'acqua all'esterno del molo orientale è occupata, il che diminuendo l'espansione delle onde reca pregiudizio

alla quiete delle acque; e che torna vieppiù necessario difendere l'avamposto, per l'esercizio della darsena nuova, cui devesi accedere per la bocca da aprire nel molo curvilineo, laddove le acque sono le prime ad essere agitate.

Resta dunque integra la questione della difesa foranea, benvero alquanto aggravata dalle nuove opere in costruzione.

In ordine alla stessa, prima di analizzare le dissertazioni esposte dall'ing. Cagli, ci compiacciamo di constatare due cose emergenti a colpo sicuro dalla loro lettura e dalle conclusioni alle quali menano.

La prima è la conferma, che, PUR ESSENDO I VENTI DA LEVANTE E DA SCIROCCO MENO FORTI E MENO FREQUENTI di quelli da mezzogiorno a ponente, nullameno è bene dimostrato che CREANO MOLESTIA PIÙ SPESSO CHE NON SI PENSI e tanto da doversene tenere gran conto nello studio della difesa del Porto.

La seconda è questa, che, dopo tutto, È ORA ACCETTATO CHE L'OPERA PIÙ OPPORTUNA A STABILIRE L'INVOCATA DIFESA DEBBASI ADAGIARE TRA IL PRIMO ED IL SECONDO QUADRANTE, non oltre questo, facendo sosta al prolungamento del molo S. Vincenzo, che si distende nel terzo quadrante.

Ciò è sufficiente a poter confermare che, tanto nelle cause, quanto negli effetti, siamo d'accordo. Non altro, infatti, propugnammo nel concetto fondamentale e col programma conclusionale, allorchè con troppo ardire, si disse, iniziamo l'opposizione al già deliberato prolungamento del molo S. Vincenzo e suggerimmo la difesa orientale dianzi descritta.

Non diversamente opinava il comm. Zainy, che anzi, m'incoraggiò a levare la voce, per impedire che, altri milioni si spendessero al molo S. Vincenzo, potendoli meglio impiegare in altre opere.

Se poi la difesa orientale, che ormai anche l'Ufficio del Genio Civile dimostra essere preferibile alla bisogna, debba estendersi in un angolo di 100 o di 90 gradi, prolungata più o meno, così da risultarne la imboccatura orientata con differenza di uno o più rombi, è questione di modalità, che non cambia lo scopo precipuo della difesa alle darsene portuali.

La nuova opera ad oriente dell'avamposto servir deve a mascherare una parte dell'attuale troppo ampia apertura, e di questo partito finale niuno potrà essere più soddisfatto di chi ne fu apostolo.

Pur tuttavia, ci sentiamo forti ad insistere su ciò che del pari sostenemmo, essere la questione, non già limitata e specifica alla sola difesa dell'avamposto, ma sibbene da riguardarsi sotto un aspetto multilaterale.

Riguarda, infatti, primieramente la necessità di ottenere la maggiore quiete possibile nell'avamposto, senza però impegnare somma troppo rilevante, sia pure contentandosi di un beneficio limitato, ma senza compromettere altre esigenze tecniche e maggiori spese in avvenire più o meno lontano. Che perciò sia considerata la necessità dell'aumento di talune calate verso terra, specialmente per il desiderato approdo, facile e diretto, allo scalo ferroviario dei grandi piroscafi transatlantici, che facendo breve sosta, ora restano al largo dell'antiporto, con grande disagio dei passeggeri e delle operazioni commerciali: che, infine, non sia trascurata la parte edilizia e sanitaria, e propriamente quanto riflette lo sbocco del Sebeto, dell'Arenaccia e del nuovo scaricatoio pluviale basso. Queste foci, con grande studio e spesa, sono ora coordinate all'estremo orientale della Piazza Maddalena; ma se un giorno fossero chiuse entro l'avamposto, sarebbero causa di inconvenienti e di nuove rilevantissime spese.

Tutto ciò non deve essere messo in non cale, che anzi l'opera da farsi dev'essere subordinata a tale complesso di esigenze.

E' pregio di ogni privata e vieppiù dell'opera pubblica che le diverse finalità sieno armonizzate e che non si dia ad una sola prevalenza assoluta, massimamente allorchè la spesa esorbita, o minaccia di esorbitare, per sopperire e rimediare più tardi a qualche difetto.

E' il criterio della minima spesa, in rapporto ad una giusta previsione dei vantaggi, quello che guidar deve alla scelta del partito ultimo, e che può giustificare anche talune soluzioni tecniche non perfette.

Tale concetto ci guidò, come abbiamo detto, oltrechè a favore della invocata nuova opera foranea, per provvedere alle altre occorrenze del porto, e noi crediamo che il concetto medesimo possa ancora utilmente applicarsi.

II. — RIASSUNTO DELLA MEMORIA DELL'INGEGNERE CAGLI, ED ANNOTAZIONI ALLA MEDESIMA.

Veniamo ora a considerare quanto espone l'ingegnere Coen Cagli, riassumendo il suo scritto nella parte che impegna lo studio sui movimenti del mare.

L'autore, dopo aver date alcune premesse sullo stato della questione, tratta nei Capi I e II dell'influenza della conformazione e dell'orientazione delle coste al propagarsi dei flutti presso il porto di Napoli, e dell'agitazione prodotta nel porto dai mari dei diversi rombi, rispetto alle opere che lo formano.

In questo esame, col corredo delle osservazioni registrate dal 1872, riferendo le deduzioni di molti ingegneri, e più minutamente di coloro che erano preposti all'ufficio governativo, e con molte e minuziose osservazioni fatte negli ultimi anni, egli cerca di dedurre dagli effetti la causa originaria dei fenomeni ondulatori ravvisati nel porto di Napoli.

Non potendo seguire lo scritto in tutte le sue parti, ne rileviamo le più importanti citazioni e le deduzioni tenute per legge, rimarcando taluni apprezzamenti, con analoghe considerazioni e riserve, dove non è possibile consentire con l'egregio scrittore.

Dalle notizie delle mareggiate del 4 dicembre 1872 e 25 febbraio 1879 è dedotto, che la prima fu eccitata da venti di scirocco giranti a sud e più tardi a libeccio; che le onde ebbero senza dubbio un'altezza all'imboccatura da 4 a 5 metri, che i danni furono disastrosi per il molo San Vincenzo e per le navi entro il porto con avarie e naufragi.

Cioè a dire che, nonostante che l'infuriare delle onde fu più violento quando il vento girò a S W, i danni nell'interno del porto, che è difeso da S-W ed è esposto a S-E, furono gravi e prodotti da onde alte e violente.

Trova qui il Cagli l'occasione per citare l'autorità del Cornaglia, il quale osservò a Porto Maurizio onde, che, producendo contro quel molo occidentale getti d'acqua alti 9 m., giungevano a terra con altezza di m. 4, sebbene deviate quasi di 70°; e ne deduce che non fa bisogno di ricorrere alla teoria del *mare riflesso* per spiegarsi che a Napoli possano le onde giungere nell'interno del porto, verso il molo Angioino, alte ancora 3 m., derivanti da onde di 5 m. o più all'imboccatura, pur girando di 90°.

Trascrive poi intero un periodo della relazione Masi, sulle cause ed effetti di quelle mareggiate, e lo critica perchè ammette correntia o moto riflesso da levante verso il porto, sostenendo invece che ogni spiegazione di quegli effetti dannosi emerge dai flutti d'espansione investenti con vigore il molo S. Gennaro, e conclude così:

« Da quanto precede, risulta che le mareggiate del 1872 e del 1879, citate in appoggio alla teoria del mare riflesso, sono assolutamente insufficienti a darne convincente dimostrazione, potendosi benissimo spiegare i danni dalle medesime prodotti, mediante i flutti diretti dal secondo quadrante o quelli di espansione prodotti dai mari del terzo quadrante ».

In appoggio esamina i fatti delle mareggiate del 10-11 novembre 1883, promosse da venti violentissimi alternati da S — S-W ed anche da W — S-W. Allora vi furono danni a Torre del Greco, al Granatello, a Capo Posillipo, al molo orientale di Napoli ed al piccolo naviglio mercantile, sui quali lo scrittore soggiunge: « Tali danni, mentre non lasciano dubbio alcuno circa la direzione da cui provenivano i flutti, attestano con sicurezza della grande violenza della mareggiata: » donde deriva grandissimo valore al fatto che non si ebbe nel porto di Napoli a lamentare alcun danno veramente grave, dappoichè se il fenomeno della riflessione dei flutti lungo la costa a levante del porto si fosse verificato, a ragione appunto di quella grande violenza, violentissimi avrebbero dovuto essere i flutti riflessi verso l'imboccatura del porto, e gravissimi i danni alle navi che conseguentemente avrebbero dovuto prodursi ».

A proposito della mareggiata del 12 marzo 1895 e dei danni che ne risultarono, come descritta e commentata dal Zainy, conclude:

« Resta dopo ciò assodato che la mareggiata del 12 marzo 1895 toccò il colmo della violenza nel periodo in cui i venti soffiarono da scirocco-levante, durante il qual periodo i mari procedevano presso al porto con direzione da scirocco a scirocco-levante, e che nel periodo stesso si produsse il naufragio della chiatta carica di carbone presso al ponte Immacolatella, come probabilmente si saranno nel medesimo prodotti anche gli altri non gravi danni che in occasione di quella mareggiata si ebbero a lamentare; per cui resta esclusa nel modo più assoluto qualsiasi necessità di ricorrere, per dare di quei danni spiegazione, alla teoria del mare riflesso ».

La mareggiata ben forte del 5 dicembre 1897 recò seri danni a taluni bastimenti e più ne mise in grave pericolo; le precauzioni che si poterono adottare a tempo, poichè la tempesta si svolse di giorno e fu di breve durata, impedirono maggiori guai. Fu eccitata da venti di scirocco e scirocco a levante; così osservata anche fuori del golfo, lungo il Tirreno.

E quindi il Cagli, trovando fin qui predominio diretto di venti e mareggiate da E a S, conclude che gli effetti suddetti non possono essere invocati in appoggio della teoria del *mare riflesso*.

Dopo questi singoli esami, l'autore fa altre dirette considerazioni per affermare sempre più l'insussistenza di quella che egli chiama *teoria del mare riflesso*, e perciò discute le singole osservazioni fatte nel marzo 1898 sulla percorrenza delle onde, dall'esterno verso l'interno del porto, sotto l'influenza dei rombi contenuti fra le direzioni di libeccio a scirocco-levante; rileva che nell'antiporto le onde, quale che sia la loro direzione esterna, acquistano sempre quella che può dirsi radiazione normale al lido, disponendosi perciò a ventaglio e girando con un angolo più o meno grande rispetto alla direzione esterna, quando questa non coincida con la mediana, direi quasi, del ventaglio.

E poichè al 31 marzo fu osservato che il vento ed il mare procedevano fuori del golfo da mezzogiorno-libeccio, mentre presso il porto il vento procedeva da mezzogiorno-scirocco ed il mare da mezzogiorno una quarta a scirocco (a parte la matematica esattezza di questa differenza di quarte tra il mare ed il vento, che si potrebbe mettere in dubbio), l'osservatore esce nel dire che questo fatto, o tal differenza, sembrerebbe a tutta prima dar ragione a coloro i quali sostengono che, tanto i venti quanto i mari del terzo quadrante, vengono dalla costa orientale del golfo risospinti verso maestro.

Il 4 aprile 1898 fuori del golfo era calma di vento, e verso il porto si riscontrava vento leggerissimo di greco e mare lungo di libeccio; fra le osservazioni particolareggiate e prodotte in allegato l'autore fra altro ha registrato quanto segue:

« Il mare rompe furiosamente sulla costa a levante del forte Villena. Lo si vede rompere violentemente presso al Granatello. »

« Procedendo nel senso opposto, ma a una distanza dalla costa di circa 900 m., si osserva che le onde giungono con direzione di libeccio fin presso al passaggio sulla linea condotta nella direzione stessa per la testata del Molo San Vincenzo. Le onde piegano quindi verso mezzogiorno e sembrano aprirsi a ventaglio sopra una larghezza di circa m. 50 immediatamente a levante della testata del Molo S. Vincenzo. »

« Nel mezzo della bocca dell'antiporto (testata S. Vincenzo-testata Curvilineo) la direzione delle onde è da S-E - 1¼ E. »

« Guardando dal Molo S. Vincenzo, si vede che la spiaggia di fronte ai Granili ed a levante fin presso al Granatello è sensibilmente investita in pieno dai flutti. Infatti si vedono i frangenti prodursi simultaneamente su lunghissimi tratti di spiaggia propagandosi poi a levante o a ponente, a seconda delle speciali accidentalità della costa nei diversi suoi punti. »

« Si nota che lo specchio acqueo a levante del Molo Curvilineo non presenta quella calma che si rilevò durante le mareggiate libecciali dei giorni 26 e 30 marzo. »

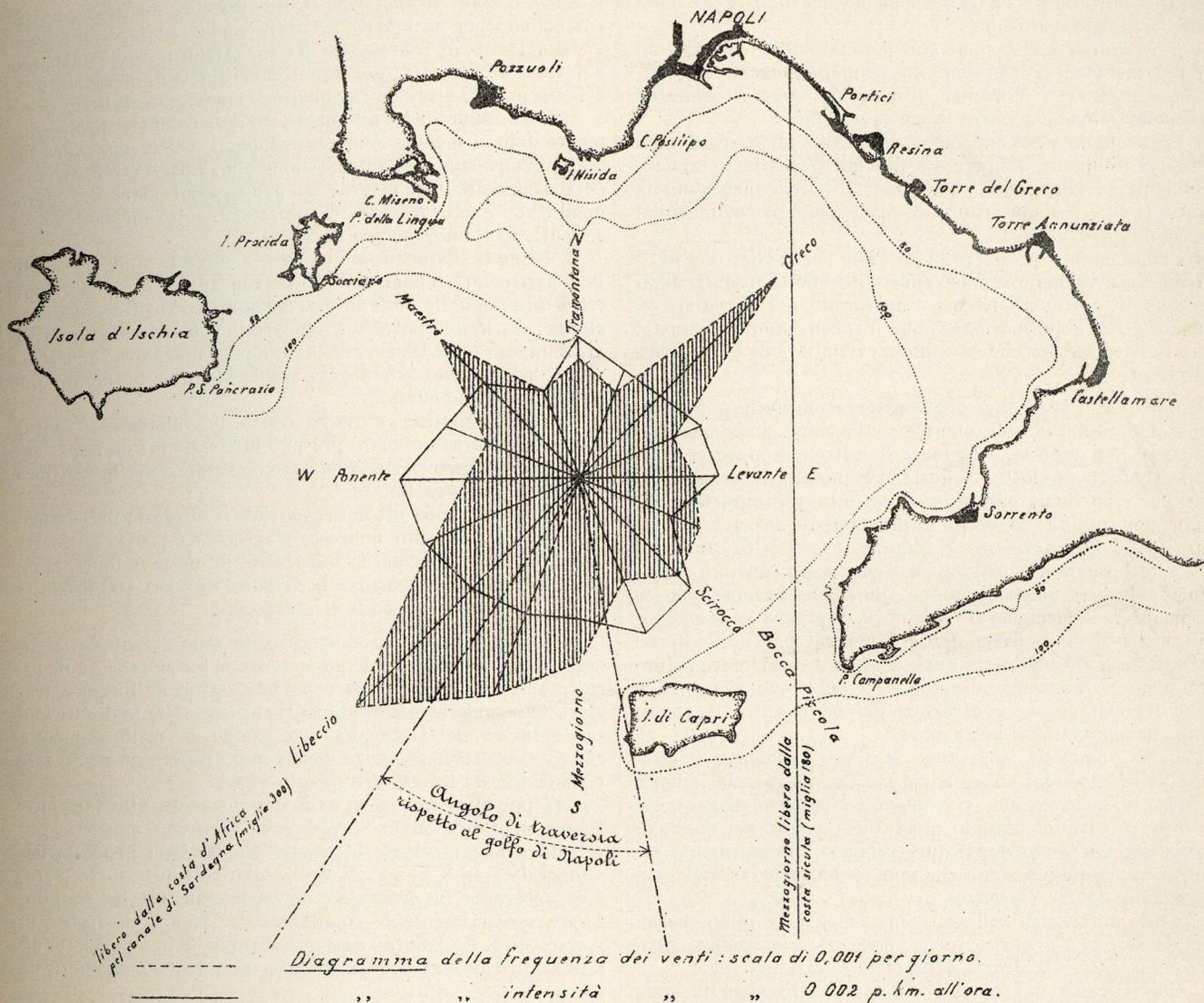


Fig. 35. — Golfo di Napoli. — Diagrammi della frequenza ed intensità dei venti.

» tuale sua bocca volta a levante, ne aumenterebbero l'agitazione ».

Affermata quindi siffatta opinione sulla niuna influenza del mare dall'esterno del porto, l'autore passa ad un più minuto esame dell'agitazione nel porto sotto le diverse direzioni dei venti, e contro i diversi ostacoli, illustrando le osservazioni sull'altezza e direzione delle onde, fatte fra il 1892-95, dalle quali ben vero si desumono cose note come fatti generici; ma, prima di farne particolare menzione, ci par degno di trascrivere anche qui le dotte opinioni che espresse il Cornaglia, consultato dopo le osservazioni locali del 1888-89, poichè sono parole di grande maestro.

« 1° Tanto col mare di S-E come quello di S—S-O il Molo Curvilineo è preso di punta dalle onde provenienti dal largo, cioè esse lo investono sempre sotto un angolo molto acuto sulla di lui lunghezza.

« Ora, dietro le fatte osservazioni, si è ormai sicuri che il Molo Curvilineo non produrrà mai nè un grande movimento riflesso nel senso della sua lunghezza, nè una forte risacca in direzione normale al molo stesso.

« 2° Col mare di S-E il Molo a Martello riflette un certo movimento sull'imboccatura del nuovo porto.

« Quantunque col mare di S—S-O l'osservatore non abbia accusato (ed è sempre assai difficile discernerlo a vista) un movimento riflesso simile sull'imboccatura del nuovo porto, tuttavia, se si pon mente che in tale circostanza le onde investono il Molo a Martello sotto un angolo più o meno acuto dalla parte di levante, si arguisce che esso movimento

» deve esistere anche allora, benchè possa essere meno intenso.

« Da ciò consegue che sarebbe stato meglio piegare alquanto più verso sud il detto Molo a Martello, acciocchè il movimento riflesso si dirigesse invece sul Molo Curvilineo.

« L'inconveniente continuerà a sussistere col prolungamento del Molo S. Vincenzo; ma diminuirà a motivo che i flutti investenti il Molo a Martello saranno allora di minor vigore, benchè, investendolo essi sotto un angolo più acuto dalla parte di levante, tendano ad accrescere l'energia di esso movimento riflesso.

« 3° Il mare di S—S-O può ancora produrre un'agitazione ben forte nel nuovo porto, specialmente nel tratto fra il ponte Trapezoidale e quello dell'Immacolatella. A diminuire tale agitazione gioverà il prolungamento del Molo S. Vincenzo, dapprima perchè allontanerà dal nuovo porto il punto di espansione delle onde del largo, ed in secondo luogo perchè così aumenterà lo specchio d'acqua in cui esse possono espandersi e quindi rendersi meno sensibili.

« 4° È importante il fatto dell'ondulazione che coi mari di S—S-O si propaga certe volte con un'altezza di m. 0,70 nel tratto fra il ponte Trapezoidale e quello dell'Immacolatella, e con un'altezza da m. 1,60 a m. 0,30 lungo il Molo S. Vincenzo fino al Porto Militare.

« Ciò mostra chiaramente come le ondulazioni, nel propagarsi, si vadano piegando per penetrare sin negli ultimi recessi, e quale forza l'agitazione vi possa ancora mantenere. « Nel caso presente, nel propagarsi lungo il molo S. Vin-

» cenzo, i flutti da S — S-O debbono deviare di oltre 90° dalla loro primitiva direzione.

« A diminuire l'agitazione che per tal guisa penetra nel porto militare, gioverebbe un pennello spiccato normalmente al Molo S. Vincenzo, il quale sbarrasse il cammino all'ondulazione che corre lungo esso molo.

« Un pennello simile normale alla fronte di scirocco del Molo S. Gennaro, all'ingresso del porto militare, sbarrerebbe il movimento riflesso verso il porto medesimo da detta fronte, nelle occasioni di mareggiate provenienti dal secondo quadrante.

« Prima però di proporre tanto l'uno che l'altro dei detti pennelli, è d'uopo osservare ancora gli effetti prodotti dagli accennati movimenti riflessi, imperocchè, per rimediare ad un inconveniente, non basta che l'inconveniente sussista, ma bisogna ancora che sia d'una gravità tale da giustificare il rimedio ».

Il Coen Cagli soggiunge che le osservazioni fatte posteriormente agli anni 1888-89, mentre confermano pienamente le deduzioni ora esposte, valgono a stabilire con maggior esattezza gli effetti prodotti dai flutti provenienti da varie direzioni; ne riportiamo perciò in succinto le più importanti.

Che, non ostante l'avvenuto prolungamento del molo S. Vincenzo, il molo curvilineo è sempre investito di punta, e non può dare quindi origine in alcun caso a sensibili movimenti riflessi in niuna direzione. Quest'affermazione è molto importante, — facciamo tra parentesi osservare — poichè significa che il mare passa dall'esterno del porto all'interno nella stessa direzione nella quale giungeva prima del prolungato molo S. Vincenzo: dunque v'ha un'azione che prevale nel « determinare » la direzione del moto entro il porto, quale che sia quella al largo mare.

Il molo a martello, soggiunge il Cagli, aumenta l'agitazione nella bocca del nuovo porto mercantile, perchè riflette le onde che lo investono, ed è notevole che ciò avvenga, tanto per i flutti diretti del secondo quadrante, quanto per quelli di espansione del terzo quadrante, sebbene l'investimento avvenga con angolo più acuto che non avveniva prima del prolungamento del S. Vincenzo.

Che i movimenti riflessi hanno maggiore intensità nei mari da scirocco a mezzogiorno, sebbene non sempre proporzionatamente all'altezza delle onde esterne.

Che il fronte del molo S. Gennaro è investito da onde di espansione, qualunque sia la direzione delle onde esterne, e l'investimento avviene con angolo acuto verso levante, tanto più quanto più a levante poggia la direzione da cui il mare esterno proviene. E quindi i movimenti riflessi sono molesti al porto militare, qualunque sia il predominio esterno si del secondo che del terzo quadrante; ben inteso quando quest'ultimo è forte.

Più particolarmente, rispetto ai mari del terzo quadrante, i fenomeni all'interno e lungo il molo S. Vincenzo e nelle altre parti del porto persistono non ostante il prolungamento dato al molo stesso dal 1889 ad oggi; sebbene l'altezza delle onde dovrebbe essere diminuita per l'allontanamento del punto d'origine dell'espansione. È notevole nondimeno il fatto, per quanto parrebbe dovesse essere il contrario, che l'altezza delle onde propagantisi coi mari del terzo quadrante lungo il molo S. Vincenzo, indipendentemente dall'altezza delle onde esterne, aumenta col diminuire dell'angolo sotto cui queste ultime incontrano il molo dalla parte di ponente.

Tanto meno deve meravigliare che i mari di libeccio producono lungo il molo S. Vincenzo un'onda radente più alta che con i mari di sud, e che, a parità d'altezza d'onda all'esterno del porto, i mari di libeccio producono lungo il molo S. Vincenzo un'onda radente più alta che non i mari di mezzogiorno ed indicano insieme, che i mari di libeccio hanno, apparentemente almeno, minore o maggiore effetto nel produrre la detta onda radente, a seconda che sono accompagnati da più o men forte vento da libeccio.

Abbiamo sottolineate tali deduzioni per meglio rilevarle, trascriviamo ancora la seguente considerazione.

« Il fatto del maggiore effetto che i mari di libeccio hanno, » per rispetto a quelli di direzione più prossima a mezzogiorno, nel produrre l'onda radente lungo il molo S. Vin-

» cenzo, è tanto più notevole in quanto che, mentre i flutti » debbono, per produrre la detta onda, deviare di circa » 80° nel caso di mareggiate da mezzogiorno, essi debbono » deviare di circa 100° nel caso di mareggiate di mezzogiorno- » libeccio, e di circa 125° in quello di mareggiate da libeccio ».

Sembra infine lecito all'autore il ritenere che il prolungamento dato al molo S. Vincenzo dopo il 1889, può avere in certa misura aumentata l'agitazione che, a parità di direzione ed altezza delle onde esterne, si propaga coi mari del terzo quadrante lungo il molo S. Vincenzo, sotto forma di onde radenti, fino nel porto militare.

È lunga la dissertazione ch'egli fa circa la spiegazione di tali particolari fenomeni, ricercando anche le proporzioni fra le altezze delle onde in diversi punti ed in diverse circostanze; ma non si ferma a dileguare la contraddizione relativa all'influenza del libeccio che a volte pare maggiore verso l'interno, per quanto più poggia a ponente, a volte sembra che produca opposto effetto.

In ciò contribuisce, a nostro avviso, la violenza del vento, e quindi la forza del mare più che la direzione; da cui si genera più energico il fenomeno di riflessione, che lo scrittore invece vorrebbe escludere.

È importante da ultimo registrare il risultato delle esperienze: che è sempre notevole l'agitazione presso la testata del S. Vincenzo, per parecchie decine di metri in fuori, tanto che i naviganti mantengono la distanza di circa 100 m. dalla testata per evitare le onde e i cavalloni.

In quanto ai mari del 2° quadrante sono esaminate le diverse fasi delle onde ed i rapporti fra le loro altezze, e deducesi nei termini che riporteremo quali sono dall'autore trasfusi nelle conclusioni del Capo II, tralasciando le discussioni sull'opinione del Cornaglia a proposito del prolungamento, che si progettava eseguire per il molo S. Vincenzo. Su tale riguardo basta trascrivere quanto segue:

« E' per altro non meno evidente che se un ulteriore prolungamento del Molo S. Vincenzo, ancorchè modesto, potrebbe maggiormente attenuare l'agitazione prodotta dai mari da S — S-E, specie se ripiegato alquanto verso terra, » occorrerebbe un notevolissimo prolungamento per migliorare sensibilmente le condizioni del porto, di fronte ai mari di S-E, mentre esso riuscirebbe d'insignificante effetto di fronte ai mari non frequenti, ma *violentissimi*, da E — S-E ».

Le annunziate conclusioni del Capo II sono queste:

1° Che la conformazione e l'orientamento del golfo e segnatamente della costa a levante del Porto di Napoli, non hanno influenza di sorta nella propagazione dei flutti verso il porto medesimo, eccettochè per i mari del 2° quadrante, i quali, per effetto di naturale espansione, dopo varcate le bocche di Capri, e specialmente la bocca piccola, tendono a propagarsi verso il porto di Napoli con direzione più o meno spostata verso mezzogiorno;

2° Che i mari del 3° quadrante, e più propriamente della prima metà del quadrante stesso, avendo la via preclusa ad entrare direttamente nel porto, non producono nelle ordinarie mareggiate agitazione veramente molesta in alcuna parte del porto, ma possono nelle più violenti mareggiate produrre, per espansione dei flutti, agitazione più o meno molesta nell'avamposto, nel Porto Militare e nel bacino centrale del Porto Mercantile e mettere persino in pericolo i bastimenti ormeggiati lungo il Molo S. Vincenzo, per effetto specialmente del mare radente prodotto, nelle tempeste libecciali dai movimenti riflessi che i flutti del largo generano sulla estesa fronte rettilinea di quell'opera foranea;

3° Che i mari del 2° quadrante, avendo libero il diretto accesso al porto, producono, pur nelle mareggiate d'ordinaria intensità, vivissima agitazione in ogni parte dell'avamposto e dei bacini interni, e possono, nelle mareggiate di maggior violenza, mettere a pericolo le navi ormeggiate tanto nell'avamposto quanto nei bacini interni, eccettuate solo le più remote parti del Porto Militare e del Vecchio e Nuovo Porto Mercantile, dove per altro l'agitazione giungerebbe ancora molto molesta.

Osserviamo qui soltanto che, mentre bene e indubbiamente sono affermati quei fatti, sembra la prima conclusione contra-

dittoria con le altre: ma ciò risulta da una erronea maniera di guardare la questione, alla quale abbiamo già accennato con riserva, e vi ritorneremo più in là.

III. — ESAME DELLE DIVERSE PROPOSTE E NUOVO PROGETTO DEL GENIO CIVILE.

Nel Capo III della sua Memoria passa l'ingegnere Coen Cagli a trattare direttamente del completamento della difesa foranea, facendo l'esame del prolungamento del molo S. Vincenzo, e dei recenti progetti dell'ing. Zainy e dell'ing. Bruno, per una difesa del lato orientale. Nell'introdursi ad una nuova proposta, nel n. 5, così si esprime:

« Le conclusioni a cui siamo pervenuti colla discussione di » tali progetti ci fanno vedere che niuna delle tre proposte » varrebbe ad assicurare completamente al porto di Napoli i » miglioramenti di cui tutti riconoscono la necessità, e che » in ogni modo sarebbe fra di esse la migliore quella del pro- » lungamento a martello del Molo S. Vincenzo, dappoichè, » mentre essa provvederebbe a diminuire l'agitazione degli » specchi interni in modo ed in misura non inferiori a quelli » in cui vi provvederebbero le altre proposte, non verrebbe » almeno, con quell'opera, a mutare le attuali condizioni nau- » tiche del porto, laddove con le altre due soluzioni le con- » dizioni stesse risulterebbero più o meno gravemente peg- » giorate. »

E poi soggiunge:

« Ora a me sembra che le osservazioni fatte sui movimenti » del mare nel porto di Napoli e relative deduzioni, e la di- » scussione dei tre progetti presentati, possano logicamente » condurre ad un'altra soluzione, diversa dalle precedenti ed » atta a soddisfare ogni esigenza, sia dal lato nautico, sia da » quello della tranquillità delle acque. »

Infatti, ripigliando, in riassunto di tutto ciò che ha precedentemente esposto, dichiara:

« Dopo ciò parrebbe logico ritenere che non altrimenti » potrebbe provvedere ad una buona sistemazione delle di- » fese foranee del porto di Napoli, se non con un'opera che, » mirando al precipuo scopo d'intercettare nella massima » misura possibile i mari del 2° quadrante, e specialmente » quelli da scirocco a scirocco-levante, ed a portare il centro » d'espansione il più lontano possibile dagli specchi interni, » fosse orientata e disposta in guisa da non costringere le » navi ad alterare l'attuale loro rotta di arrivo che, come si » disse, è la più sicura, nè quella d'entrata e d'uscita che è » la migliore compatibile con l'orientamento del porto, la- » sciando perfettamente libero lo specchio sottoflutto alla » difesa principale rappresentata dal molo S. Vincenzo.

« L'opera dovrebbe poi essere disposta in modo da non » produrre movimenti riflessi, nè su la bocca, nè verso l'in- » terno del porto.

« In base a tali criterii è stato appunto tracciato l'ante- » murale curvilineo.

« Tale antemurale, protendendosi con la corda per libeccio » $\frac{1}{4}$ mezzogiorno sopra una estensione di circa m. 550, fino » a formare con la testata del Molo S. Vincenzo una bocca » dell'ampiezza di m. 300, orientata a mezzogiorno, e posta » col suo punto di mezzo a circa m. 650 dalla testata del » Molo Curvilineo, verrebbe a creare al di là della bocca » stessa un amplissimo bacino di espansione, perfettamente » libero, e ad intercettare i mari del 2° quadrante, per modo » che quelli di scirocco non potrebbero in detto bacino pe- » netrare che sovra un'ampiezza di m. 200, e quelli di sci- » rocco levante sovra un'ampiezza di m. 100. Dippiù lasce- » rebbe libero, fra la sua estremità settentrionale e la costa » di fronte ai Granili, un braccio di mare dell'ampiezza di » ben m. 600, con un canale navigabile, fra l'estremità stessa » e l'isobata dei 10 metri, largo m. 250 circa. »

Siffatta opera è tracciata esattamente nella fig. 34 insieme a quelle del Zainy e del Bruno.

Infine, per completare il programma, l'autore accenna ad un altro lavoro di giusta convenienza, fatta che sia la difesa orientale (con qualsiasi modalità, ci permettiamo osservare), e dice: *tanto nei riguardi delle manovre d'uscita delle grandi navi provenienti dalle andane del molo S. Vincenzo, quanto nell'interesse di un più libero campo di evoluzione per tutte*

le navi, sia in entrata, sia in uscita, ed infine per sottrarre ad ogni pericolo le navi che eventualmente si mettessero a ruota nel nuovo bacino, parrebbe consigliabile la demolizione del Molo Curvilineo fino all'entrata della darsena, dei bacini di carenaggio, ciò che, una volta costruito il proposto antemurale, potrebbe fare senza inconvenienti di sorta, nei riguardi della tranquillità delle acque interne, dappoichè niun maggior riparo recherebbe il detto molo, rispetto a quello assicurato dall'antemurale.

Di poi passa a dimostrare quanto sarebbero soddisfacenti gli effetti della proposta opera nei riguardi della tranquillità delle acque del porto, affidandosi alla propagazione ed estinzione dei flutti; ammette però che, solo nelle più violenti mareggiate da S-S-W, la nuova opera non avrebbe grande effetto, mentre poi dice: « Maggiore sarebbe il beneficio assicurato, rispetto all'attuale stato di cose, di fronte ai mari da mezzogiorno libeccio a mezzogiorno $\frac{1}{4}$ libeccio, i quali evidentemente troverebbero nel nuovo bacino anche maggior campo per espandersi verso levante, e però meno intensamente che non ora, si propagherebbero verso il porto ».

Su quest'ultima considerazione facciamo anche riserva, poichè non ne vediamo chiaro il fondamento.

Si occupa poi dell'agitazione propagantesi lungo il molo S. Vincenzo, di cui è parlato nel Capo II, ed afferma che basterebbe ad arrestarla ciò che proponeva il Cornaglia, ossia un pennello convenientemente lungo spiccato normalmente al detto molo, e soggiunge:

« Quest'opera, congiunta al nuovo bacino di espansione » varrebbe pertanto ad assicurare, di fronte ai mari di libeccio » a mezzogiorno $\frac{1}{4}$ libeccio, quegli stessi benefici che assicu- » rerebbe il proposto prolungamento a martello del Molo » S. Vincenzo, e che non varrebbero invece ad assicurare in » modo alcuno le opere proposte dai signori Zainy e Bruno ».

Ma quest'opera, il pennello cioè, osserviamo noi, può essere aggiunta con egual vantaggio, se mai, e certamente con minori effetti di confluttazioni ad ambedue le proposte criticate!

Il Coen Cagli, per valutare quale sarebbe la residua agitazione nell'interno del porto, facendo assegnamento sul grande bacino di espansione, applica la formola dello Stevenson e i coefficienti di riduzione risultanti dalle dirette osservazioni fatte nello stato attuale, determinando così le altezze di onde presso i vari fronti delle opere portuali; tali altezze risultano evidentemente minori che oggi non avvenga per identica influenza esterna, poichè si parte da una misura ridotta per effetto dell'opera progettata.

Infatti, con la formola dello Stevenson, l'altezza contro la testata del curvilineo è ridotta ad *un metro*, e così ridotte proporzionalmente sono le altezze nel bacino portuale interno.

Ciò è logico e conseguente, ma non è egualmente dimostrato quanto l'autore soggiunge:

« Un simile beneficio sarebbe certamente assicurato, pei » mari da mezzogiorno $\frac{1}{4}$ libeccio a mezzogiorno $\frac{1}{4}$ scirocco, » anche dal proposto prolungamento a martello del Molo » S. Vincenzo; ma non in egual misura sarebbe esso proba- » bilmente assicurato dai progetti Zainy e Bruno ».

E più oltre:

« Paragonando poi, nei riguardi dell'agitazione prodotta » dai detti rombi, il proposto antemurale con le opere com- » pletate negli altri tre progetti esaminati, si vede che, mentre » con queste ultime l'agitazione nei vari specchi portuali » andrebbe, con lo spostarsi della direzione dei flutti esterni » verso levante, aumentando sempre, fino a prodursi in mi- » sura eguale o poco minore di quella che attualmente si ve- » rifica, per le direzioni comprese fra scirocco e scirocco- » levante, col proposto antemurale, l'agitazione andrebbe » invece diminuendo sempre, raggiungendo il minimo in cor- » rispondenza a quella direzione che, sia nelle attuali condi- » zioni del porto, sia in quelle che si creerebbero coi detti » tre progetti, sarebbe la più pericolosa.

« In conclusione, e per tutto quanto precede, sembra che, » sia nei riguardi nautici, sia in quelli della tranquillità » delle acque del porto, il proposto antemurale curvilineo, » congiunto alla costruzione d'un pennello normale al Molo » S. Vincenzo, e alla demolizione del Molo Curvilineo, var- » rebbe ad assicurare veramente al Porto di Napoli quei

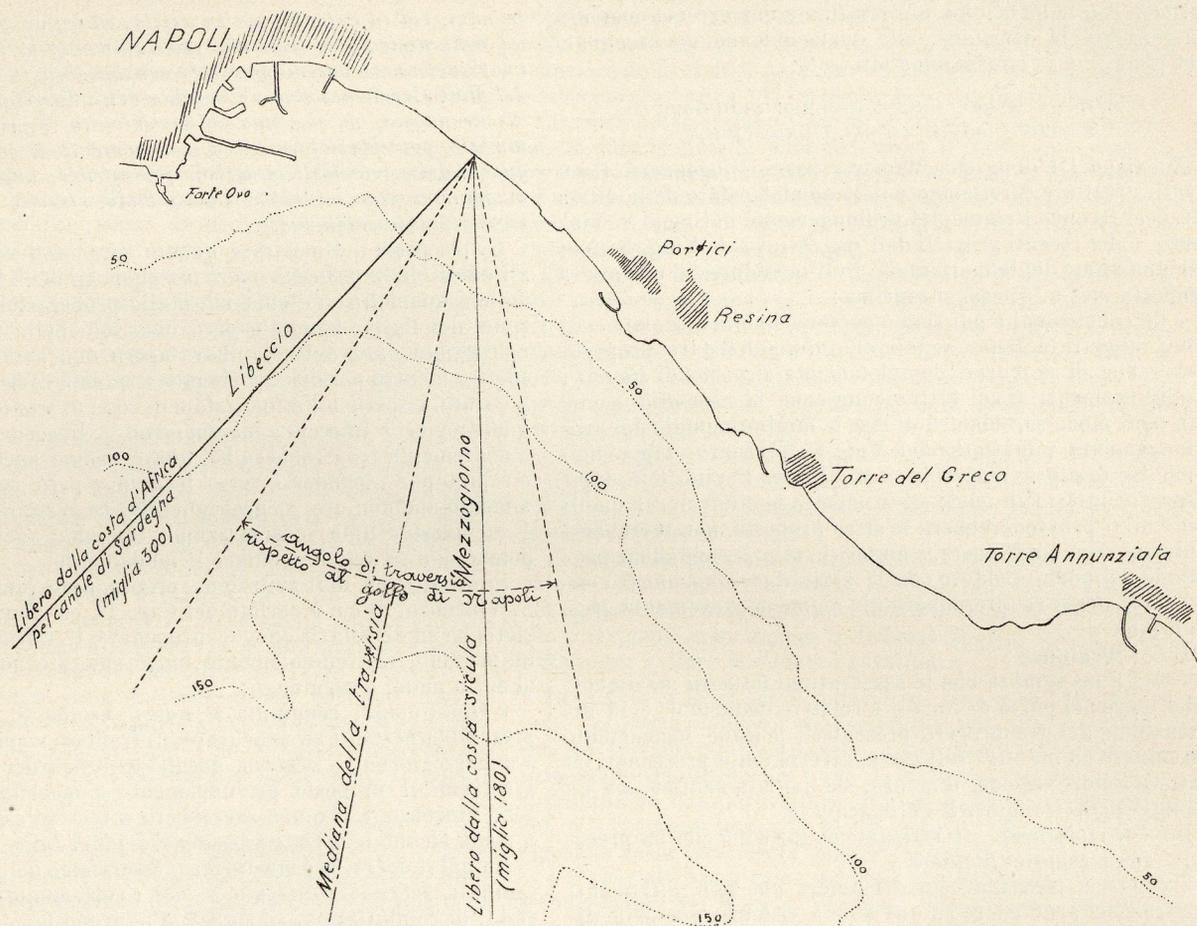


Fig. 36. — Golfo di Napoli. — Influenza del moto ondoso diretto e riflesso verso Napoli.

» benefici che da ogni parte si reclamano, ed in ogni caso a » provvedervi in modo migliore che non con gli altri tre » progetti presi in esame ».

Passa infine l'autore a ricercare quale dovrebbe essere l'ampiezza della bocca invece di quella di m. 300 proposta, per ottenere ancora maggior riduzione dell'onda nell'avamposto, e quindi maggior quiete nei bacini interni; ed al tempo stesso si fa a dimostrare che, se la orientazione della bocca di pari larghezza fosse orientata per $S - \frac{1}{4} S - E$, le ondulazioni sarebbero più forti, perchè l'avamposto sarebbe esposto necessariamente a quelle onde, che più liberamente possono propagarsi verso i suoi bacini interni, dalle quali è soprattutto necessario di difenderlo. Sostiene, in conclusione, che la più opportuna direzione della bocca sia quella normale al mezzogiorno, che sufficiente sia all'interna quiete e adatta per la rotta delle navi la larghezza di m. 300.

Da ultimo si ferma a dire brevemente della convenienza di approdi accosto alla banchina verso terra pei grandi vapori delle linee orientali, necessità anche da noi propugnata, che sarebbe soddisfatta senz'altro, se la darsena del bacino da carena, con la sua diga di recinzione, non precludesse ormai l'approdo esterno al molo orientale; e l'ingegnere del Genio Civile propone invece la demolizione di un tratto almeno del molo a martello per agevolare alle grandi navi l'accesso alle calate mercantili interne, quando con la nuova opera fosse assicurata la tranquillità dell'avamposto.

La spesa dell'antemurale ideato dal Genio Civile è stimata per lire 5 milioni, a parte le demolizioni suaccennate.

IV. — CONSIDERAZIONI SUL FENOMENO DEL MARE RIFLESSO, APPLICATE AL PORTO DI NAPOLI ED AI VARI PROGETTI. CONCLUSIONI.

Descritta, come si è fatto, in precisi termini, la nuova proposta, con i vantaggi che le sono attribuiti, passiamo ad esporre poche osservazioni su taluni punti dello scritto testè riassunto,

nel fine di dileguare, nell'interesse del precipuo soggetto, ogni divergenza di opinioni. Dipoi tratteremo delle modalità relative all'opera in discussione.

Le divergenze, cui accenniamo, sono d'indole tutt'affatto scientifica, e perciò vale la pena analizzarle: esse riguardano infatti gli apprezzamenti sulla causa originaria dei fenomeni del moto ondoso che molesta i bacini interni del porto, il cui esame è tanta larga parte degli studi del Cagli.

L'autore pare abbia avuto un preconcetto, quello cioè di combattere le argomentazioni del Zainy, da me, come da altri, sostenute per buone, nel propugnare la difesa orientale; ovvero, può dirsi, è stato ispirato da una premeditata avversione al fenomeno, tanto comune e naturale, del mare riflesso, cui affibbia la definizione di teoria!

Noi sosteniamo invece che la molestia da levante verso il porto nostro, che si verifica più spesso e più fortemente che non dovrebbe essere, poichè avviene anche quando spiri vento forte, e venga mare grosso da mezzogiorno e da libeccio, come il Cagli ha constatato e descritto, deve avere una causa originaria permanente: questa consiste proprio nell'orientazione del lido e nella conformazione del fondo, a levante del porto di Napoli, donde si espandono i mari di riflesso.

Nondimeno il Cagli, mentre premette la sua avversione all'influenza del mare riflesso, non potendo poi darsi spiegazione di alcuni fatti che ben ha osservati, prendendo a scorta l'autorità del Cornaglia, finisce per accettare nei limiti che sono i più evidenti, la riflessione del moto ondoso. Cerchiamo ora di spiegarci donde derivi tale contraddizione.

L'autore s'introduce nell'esame che fa, prediligendo la difesa verso mezzogiorno, e non dà importanza agli inconvenienti dal lato orientale. Ma allorchè viene ai distesi e coscienziosi rilievi, ricordati ed in parte trascritti in questo nostro articolo, trova nel fatto necessario recedere, ammettendo le circostanze che per programma vorrebbe escluse.

D'altra parte, il metodo tenuto nelle osservazioni fa trovare

l'autore a disagio nello spiegare taluni fenomeni, poichè ha seguito il moto visibile delle onde, ossia il flutto corrente verso la riva, trascurando il complessivo movimento della massa acqua.

L'espandersi dei flutti nei bacini interni, la direzione radiale verso il lido, l'obliquarsi ed il riflettersi secondo le orientazioni degli ostacoli e la loro direzione rispetto al mare, sono tutte cose bene osservate a conferma dei fenomeni naturali non dubbi; ma è sfuggita l'azione complessa, di cui quelli non sono che parziali e singolari manifestazioni, dalle quali pertanto non può trarsi alcuna legge.

Le cause e le circostanze locali, infatti, che fanno variare quelle fasi, sono molteplici, per cui variar può la misura ed anche la forma dei fenomeni suddetti; ed in conseguenza, i coefficienti ricavati dai rapporti di altezza delle onde, nel passaggio da un bacino all'altro, non possono tenersi per regola certa.

Non fa mestieri notare quanto importi lo studio della orientazione delle coste e della orografia del fondo nell'avvicinarsi a terra, a proposito di qualsiasi opera debbasi progettare, per avvisare sull'azione del mare in rapporto al predominio dei diversi rombi di venti. Ricordiamo soltanto che il moto ondososo, dal largo giungendo a terra, si trasforma in moto corrente, moto radente, moto di risacca e di riflessione; cioè a dire, che la massa delle acque agitate estrinseca in diverse guise l'energia propria a seconda degli ostacoli che incontra: specialmente quando quella massa è larga e profonda, nasconde energie che si rivelano a grande distanza e con sorpresa, all'incontro con gli ostacoli che ne contrastano il naturale svolgimento.

Mentre al largo le onde danno l'idea di moto corrente, questo non ha luogo, poichè *l'onda cammina, ma l'acqua non muove dal sito*; nell'avvicinarsi a terra però l'energia è mutata e suddivisa in modi diversi, è trasformata dalle reazioni contro gli ostacoli, e può acquistare finanche moto di effettiva traslazione.

Come spiegare che il movimento delle acque nel nostro porto procede nella direzione da E anche quando predomina vento da S-W? — Se poco frequenti, poco lunghi o poco forti rispetto ai venti od al mare da S W sono quelli da S e S-E, perchè nel fatto recano tanto potente azione e più spesso e con più danno che non si creda?

Non escludendo l'influenza del mare riflesso troveremo la via a spiegare i fatti registrati.

Anche il moto radente ch'è un derivato di altra energia si mostra più o meno evidente e rapido secondo il movimento dal quale è animata la massa d'acqua laterale; le due forze o si contrastano o si uniscono, così come le onde o si frangono, ovvero si sovrappongono. Il diverso rapporto fra le due energie, quella diretta e quella secondaria, produce diversi effetti. Si succedono le cause d'origine, ma gli effetti sussistono insieme, e quindi si contrastano o si compongono.

Così può spiegarsi quella specie di contraddizione notata dell'onda corrente lungo il lato interno del San Vincenzo, più viva quanto più è obliqua la direzione del vento all'esterno del molo. Ma ciò avviene solo quando il mare è fortissimo, allorquando può generarsi riflessione dal lido opposto, per quanto lontano: il moto riflesso quindi si unisce ed accresce il fenomeno diretto delle onde risospinte che girano la punta del molo, maneggiandosi lung'hesso, quasi retrocedendo.

Il fenomeno di risacca non è anch'esso un effetto di riflessione in genere? — Quando si appalesa obliquamente all'ostacolo che l'origina, è propriamente definito « risacca di riflessione », e quando giunge in altro bacino, ove nuove circostanze ripetono o accrescono il fenomeno, dicesi « risacca di trasmissione ». Ciò dimostra la premessa che, anche a grande distanza da un ostacolo investito, la massa delle acque conserva un moto nascosto che si appalesa quando un nuovo ostacolo rigenera o ingrossa le ondulazioni.

Non deve far dunque meraviglia che a molti chilometri di distanza la riflessione sussista; ma chi potrebbe determinare sino a qual distanza il fenomeno si estende, e con quale intensità e con quale forma? E chi può distinguere la genesi dei flutti, quando in un dato paraggio, sotto l'insistenza del vento, insieme all'ondulazione diretta, sussistono onde indrette o di riflesso?

I flutti che si notano in un paraggio possono essere la risultante, ossia la confluttazione di moti diversamente originati e derivati, decomposti o riflessi.

I moti di corrente che si dinotano soltanto da taluni effetti, come la deriva dei galleggianti, il trasporto di materie leggere, le escavazioni, non sono originati da cause ben lontane dal luogo ove quelli si osservano?

D'altra parte, quando, per azione atmosferica precedente, il mare sia stato eccitato in una direzione, il moto sussiste lungo tempo, mentre l'influenza del vento va mutando; ed allora nuovi flutti si generano, che si cozzano con i primi, generando terribili rabbuffi, ovvero si compongono in flutti più alti ed acuti, oppure si ripiegano lungo un ostacolo, generando i flutti radenti.

Orbene, riguardando per poco la conformazione del lido ad oriente del porto, là dove giungono di traversa i marosi animati da venti più forti e più duraturi (fig. 35 e 36), devesi riconoscere come l'agitazione possa essere deviata o riflessa verso Napoli; e non meno considerando l'elevarsi del fondo, viepiù devesi ammettere che il moto riflesso tende ad accrescersi in tutta la massa agitata.

E quando da W, passando per S a S-E, il vento gira fino a raggiungere la direzione verso il porto, è evidente che all'agitazione del mare riflesso si componga quella diretta, sicchè più insistenti e di maggior durata sono le mareggiate arrecate disastrosi effetti.

E così è spiegato come questi fatti si riscontrano nel porto, sebbene difeso dai mari di libeccio, mentre è esposto allo scirocco; quelli essendo forti e frequenti, questi meno forti e rari nel giro della rosa dei venti.

Così è che si ripetono tutti quei fatti che il Cagli ha bene osservati e registrati.

Se l'ingegnere Cagli, adunque, avesse guardato più lungi dalla riva, se avesse riflettuto che, anche a grande profondità, più che non si pensi comunemente, si estende il moto che osserviamo in superficie, e che perciò potenti reazioni si generano, non avrebbe perduto di mira il fenomeno complesso.

Non ci pare necessario aggiungere altro per affermare che il moto di riflessione sussiste sempre, dove la profondità del mare, la conformazione del fondo e l'orientazione del lido concorrono a darvi causa, e che, nel caso che ci riguarda, rende ragione dei fatti che aggravano l'esposizione del porto di Napoli dal lato orientale!

Passiamo ora a dire delle modalità della diga orientale, esaminandone la postura e l'estensione, senza però dissimularci la difficoltà di una soluzione senza pecca, perchè trattasi di apportare piuttosto un rimedio alle cose preesistenti, anzichè stabilire un piano scevro da qualsiasi impiccio; e quindi bisogna accontentarsi di adottare quelle disposizioni che diano affidamento, nell'applicazione, di minori inconvenienti. All'uopo è utile seguire i criteri che abbiamo esposti nel Capo I, senza porre in non cale tutti i lati del problema, e senza trascurare la parte economica, ossia la complessiva spesa prossima o lontana, ma certa, per le ulteriori opere da compiere.

E' forse per quest'ultimo riguardo, non meno che di quelli idraulici, che il Cagli mentre nei preliminari dello scritto, come abbiamo rilevato già, si palesa marcatamente fautore del prolungamento del molo San Vincenzo, più oltre, osservando che per averne vantaggio occorrerebbe una lunghezza molto più grande di quella che fu proposta (come infatti hanno patrocinato il Cornaglia e l'ing. B. Trincherà), in ultimo abbandona tal partito per abbracciare quello opposto della difesa verso oriente. Il cambiamento di fronte (a 90°) dinota, in sostanza, la gran difficoltà nel soddisfare alle diverse esigenze per il contrasto che queste si fanno.

La postura data alla diga B C, così al largo in acque profonde da 20 a 30 metri, lascia all'interno un bacino molto ampio, cosa certamente utile per l'ammorramento delle ondulazioni che da sud possono entrare nell'avamposto.

Ma la diga è distaccata da terra per metri 600, e volendo tener conto del frangionde dei Granili, il varco, tra l'estremo di questo e quello della nuova opera, resterebbe di metri 480 soltanto, in acque profonde da m. 10 a m. 20.

La difesa ad oriente adunque verrebbe limitata alla metà

circa della totale ampiezza che è aperta al primo e secondo quadrante. Sicchè, quando da S-E a N-E il mare è agitato, o per diretta azione di quei rombi di venti o per riflessione dei marosi eccitati da venti forti da S e S-W, in sostanza per qualsiasi delle influenze non rare e pur pregiudizievoli, ormai assodate dagli studi del Genio Civile, non v'ha dubbio che la difesa non sarebbe che parzialmente raggiunta — forse troppo parzialmente — ponendo mente anche all'emergente contrasto dei marosi che, introducendosi dalle due bocche, tenderebbero a cozzarsi nel bacino interno.

Qui occorre osservare che, a causa delle moderne esigenze nautiche portuali, le dighe isolate sono state condannate, non meno all'estero che in Italia, ove le antiche opere cosiffatte sono state modificate collegandole da un estremo al molo di sottovento o al lido direttamente; e così anche è stato rimediato in quei porti, la cui costruzione rimonta a non oltre il mezzo secolo, come ad esempio Salerno e Civitavecchia; così finirà col farsi al porto di Licata e sarebbesi già adottato tal partito a beneficio del porto di Livorno, invece dell'or costruita diga alla Vegliaia, qualora i fondali della bocca settentrionale non fossero troppo scarsi.

Tenendo conto dei fatti registrati dal Genio Civile, non è errore nè esagerazione il temere che, date le proporzioni fra le due bocche A B, C D (fig. 34) e il pieno interposto, ossia la diga, i violenti marosi che penetreranno da parecchi rombi intorno al S nel bacino dell'antiporto, incontrandosi con quelli da S-E o da E che, in talune circostanze ben vero, per riflessione penetreranno dal varco verso terra, anziché perdere d'intensità per espansione, si accresceranno per confluttazioni e per cozzo con gli altri. Non sarebbero quindi attendibili le previsioni di ammorzamento delle ondulazioni valutate dal Cagli.

Altro e forse più rilevante fatto è quello che risulta dalla ubicazione della diga e dalla posizione del suo estremo sud, val quanto dire dalla orientazione della bocca, anche se modificata dagli Uffici tecnici superiori, con l'orientazione invece che a S obliquata 118 ad E.

Per vagliarne gli effetti senza confusione ammettiamo la ipotesi che sia la diga prolungata pressochè fino a terra: allora la conformazione che le due opere principali, la esistente e l'altra da farsi, darebbero al porto, sarebbe proprio quella di un porto a bacino, con unica entrata esposta a largo con grande specchio di espansione. E' il tipo moderno dei porti oceanici, raccomandato per ottenere facile lo accesso delle grandi navi a vapore; ma vuolsi che l'asse della bocca sia la bisettrice delle traversie, e che quella sia ben ristretta per far penetrare poca massa di acqua agitata, di cui possa avvenire lo ammorzamento mediante la espansione simmetrica da una parte e dall'altra della bocca, cosa che non è di lieve importanza. Dippiù nei porti oceanici, più che il moto ondoso, è l'onda di marea che, invadendo il bacino interno, tende naturalmente ad espandersi, via via perdendo d'intensità.

Quel tipo di porti, per sortire buon effetto, dev'essere rigorosamente applicato, laddove nel Mediterraneo, ove predomina il moto ondoso, eccitato da violenti mutamenti atmosferici in diverse direzioni, risulta difficile il farlo, potendo incorrere in effetti contrari alle nautiche esigenze. Così si riscontra proprio nel caso nostro; imperocchè la bisettrice dell'angolo di traversia non coincidendo con l'asse della bocca, non vi è simmetria fra le due murate di questa, e quindi i marosi penetrando obliquamente in porto, anzichè espandersi, ammorzandosi, possono generare nocivi movimenti di risacca per riflessione.

Procediamo ora ad un breve esame sui fatti che possono conseguire dalla proposta disposizione sotto l'aspetto nautico.

La fig. 34 indica la rotta delle navi nell'entrare e nell'uscire dal porto, ma le principali pervenienze sono due, da S per la bocca piccola o canale di Capri, provenienza da mezzogiorno e da levante; e da S-W pel canale grande o di Sardegna, per le provenienze da occidente e da nord. Pertanto, quale che sia la rotta esterna del porto, le navi debbono sempre poggiare quasi in direzione S-E subito dopo superata la testata del S. Vincenzo, dalla quale conviene tenersi, in caso di mare agitato, circa 100 m. distante. Se il vento spira da S la rotta è agevole, ma se il mare è agitato da vento da S-W, il che è frequente,

e che sia forte, fortissimo, la nave trovasi investita da mare di fianco, e quindi potrà essere sospinta verso la testata di sottovento, quando la nuova diga fosse costruita. Maggiore è la difficoltà, il rischio può dirsi, se la nave venendo dallo esterno nella direzione di S-W, dovrà virare proprio alla imboccatura con influenza di mare e vento laterale. Se infine il vento venga da S-E, la nuova opera non recherà pregiudizio, anzi, senza dubbio, la nave si troverà al coperto appena superata la bocca.

Ma non debesi trascurare la considerazione, che i venti regnanti e dominanti, che sono quelli di libeccio, di cui già conosciamo gli energici moti intorno alla testata del S. Vincenzo, investiranno la nuova diga, generando ondulazioni e moti di risacca così da risultare, nel varco fra le due testate, confluttazioni, direi quasi conflagrazioni, fra i flutti, di intensità grandissima: quindi a noi sembra che il superare la imboccatura in tali condizioni potrà essere grave impegno.

Consimili e non meno rischiose diventeranno le contingenze all'uscita delle navi, del che risparmiamo la descrizione: nè facciamo l'esame delle manovre alla vela.

Potrebbe osservarsi che tali critiche circostanze sono evitate, o almeno diminuite dal fatto, che alla nave a vapore nell'entrare, può imprimersi grande velocità, spegnendosi poi l'abrivo nella corsa libera, percorrendo l'ampio bacino che sopravviene alla direzione da sud. Ma in tal caso le navi debbono fare un largo giro, per poi prendere la rotta di accesso ai bacini interni, nella qual previsione il Cagli suggerisce la convenienza di demolire la parte sporgente del molo curvilineo, quella cioè che residua dal taglio già iniziato per l'accesso alla darsena dei bacini da carena.

A nostro avviso invece, per profittare dello spazio utile alle evoluzioni, sarà del caso attuare la ipotesi da noi fatta, che la diga fosse prolungata fino a terra, o poco lungi dal frangionde dei Granili, affinché la espansione dei flutti penetranti dalla bocca del largo abbia realmente luogo, ottenendosi così la quiete dell'acqua anzichè il contrasto col mare riflesso o girante per S-E ad E, che avrebbe libero ingresso dall'ampia bocca lasciata verso terra. Tale bisogno invero non è occultato dal Genio Civile accennando alla convenienza di siffatta chiusura.

Adunque, allo stato del progetto, non molto sicura appare la orientazione per S della bocca esterna, e pregiudizievole ai benefizi vantati sarebbe la grande apertura verso terra!

Intanto l'opera, come è progettata, lunga m. 540, a causa dei fondali da 20 a 30 metri, costerà circa 5 milioni; ed occorrendone l'allungamento verso il lido, la spesa si aumenterà almeno a 7 milioni e mezzo. Dippiù in tal caso si andrà incontro anche a quella per portare fuori del porto ampliato le foci del Sebeto e dei collettori pluviali urbani; laddove quelle foci ora vanno a sistemarsi, con spesa del Governo e del Comune non disprezzabile, per agevolare lo scolo dei canali di bonifica. E dippiù lo spostamento o il prolungamento delle foci medesime non è compito facile, se non vogliamo dirlo molto pregiudizievole, per ragioni topografiche altimetriche, a parte quelle della spesa.

Sia lecito ora considerare per poco la soluzione da noi proposta. La diga FE, fig. 34, è tracciata a m. 550 dal molo orientale, lasciando fuori del porto le foci più volte menzionate, anche quando la diga si volesse prolungare in H, diretta per S, lunga m. 600, terminata sottovento alla testata del S. Vincenzo, alla tangente in direzione da S-W, forma così la bocca, larga m. 300 orientata a S-E. Per tutte le considerazioni suesposte pare che tale opera difenderebbe il porto meglio dell'altra; e la imboccatura sarebbe di certo più sicura. La spesa sarebbe molto modesta, perchè l'opera si troverebbe in acque profonde da m. 10 a 25; fu valutata infatti per lire 2.500.000.

Con questa posizione, il mare da sud potrà correre libero da un lato e dall'altro, sfilando lungo la diga, senza effetti di risacche o di riflessioni, fino a spegnersi alla spiaggia; il mare da libeccio, regnante e dominante, passando fuori delle due testate, non penetrerà in massa nell'avamposto, e quel moto derivato radente allo interno del molo S. Vincenzo, che ora si osserva, avrà minore efficacia, perchè i flutti troverebbero lo specchio acqueo libero da quei moti riflessi o

diretti originati da precedente o da contemporanea azione del 1° e 2° quadrante, ragione per cui si espanderebbero più facilmente.

Ben vero, penetrerebbero in porto i mari diretti da sciocco per un passaggio alquanto più largo che non quello della ideata bocca a S; ma se la prima si restringesse a m. 250, come fu anche proposto, risulterebbe la stessa misura che nella direzione di S-E avrebbe la bocca orientata a S.

In quanto alla rotta delle navi, queste, giungendo nel mezzo della bocca, si troverebbero già in buona parte coperte dal molo S. Vincenzo, quindi non incalzate dai marosi di fianco; ed all'uscire si troverebbero anche più sicure nel manovrare, potendo dirigersi normalmente alla imboccatura senza ostacolo di sottovento alla traversia.

Insomma, poichè la rotta di ogni nave, e per qualsiasi direzione, non esce da un canale largo fra 200 a 300 m., come fu dimostrato nel nostro primo scritto sembra evidente che, data la posizione da noi proposta alla imboccatura, le attuali condizioni nautiche resterebbero migliorate, anzichè peggiorate.

Cosicchè, concludiamo che, pur volendo lasciare ai marini il giudizio sull'attendibilità delle nostre osservazioni nel campo nautico in quanto riflettono la rotta e la evoluzione delle navi all'entrata ed all'uscita, rispetto a qualunque orientazione della bocca, ci pare d'altra banda poter affermare senza dubbio che, con l'opera già in massima approvata, si va incontro alla necessità che la diga debba avere maggiore estensione verso terra, così da chiudere quasi il varco da quel lato, andando incontro a tutte le gravezze emergenti succennate.

Con le modalità da noi propugnate invece, con spesa più limitata, quei gravi pregiudizi non si avvererebbero, e pure la difesa orientale del porto sarebbe soddisfatta abbastanza e forse meglio e, per quanto più è possibile, senza creare rischiose condizioni e sovraincombenti bisogni.

I più competenti nel campo della marineria diano il giudizio definitivo sul partito da prescegliere, mentre agli Amministratori spetta la responsabilità dell'attuazione.

Dal canto nostro siamo paghi di aver giovato alla causa della difesa dal lato orientale del nostro porto, e ci siamo quasi involontariamente estesi in questi ultimi studi, solo per trarre partito dei rilievi del Genio Civile, a conferma della utilità di quell'opera, dileguando al tempo stesso appunti e critiche un po' azzardate, piuttosto per amor dell'arte che delle nostre opinioni.

Sarebbe stata maggiore la nostra soddisfazione se circostanze, che ora è inutile rilevare, non avessero impedito di giovare con la nuova opera foranea alle linee ed alla economia dello impianto dei bacini da carena, pei quali i nostri studi, come questi, restano qual modesto contributo cittadino e professionale, e forse di esempio istruttivo agli studiosi.

Napoli, 1° marzo 1900.

Ing. Prof. GAETANO BRUNO.

ESPOSIZIONE UNIVERSALE DEL 1900 A PARIGI

IL PONTE ALESSANDRO III SULLA SENNA

(Veggansi le Tavole VI e VII)

PARTE I.

Nozioni generali.

Cenno storico dell'idea. — L'idea di attraversare la Senna nel punto in cui è stato costruito il ponte Alessandro III non data soltanto dai primordi dei preparativi per il piano dell'attuale Esposizione, e dai bisogni della medesima, come i lettori potrebbero credere dalla semplice ispezione della pianta generale dell'Esposizione e dalla nostra Memoria descrittiva (a pag. 65 e seguenti), ma è un'idea molto antica. E invero quando nel 1823 il Navier, in seguito ad una mis-

sione di studio sui ponti sospesi in Inghilterra, presentava al Consiglio generale di ponti e strade il progetto di un ponte sospeso del genere che era in voga a quel tempo, la Relazione che in massima approvava il disegno, ricordava già numerosi progetti in diverse epoche presentati per riunire i Campi Elisi alla spianata degli Invalidi sull'asse di quest'ultima, facendo notare che se il ponte a quell'epoca non esisteva ancora, doveva cercarsene il motivo nelle difficoltà inerenti a quella località, e negli inconvenienti che i diversi progetti presentavano. Non volevasi recare ostacoli nè al corso delle acque nè alla navigazione; non volevasi interrotte le visuali, nè deturpata la bellezza incantevole di quella località che era principalmente l'oggetto dell'ammirazione del pubblico.

Parve allora avrebbe piaciuto l'arditezza di un ponte aereo sospeso a gomene e tiranti di ferro, ed il progetto del Navier, opportunamente perfezionato nel marzo 1824, veniva dato in appalto il 7 luglio. I lavori durarono due anni; ma all'atto di porre le gomene in tensione e di costruire il tavolato, ebbe a verificarsi un cedimento pregiudizievole nelle murature della sponda destra, a cui avrebbesi potuto facilmente, sebbene con qualche notevole aumento di spesa, riparare. Senonchè il Consiglio municipale della città di Parigi ne prese occasione per accumulare obiezioni ad obiezioni contro l'opera stessa, la quale obbligava ad attraversare con una via il grande quadrato dei Campi Elisi, e specialmente contro le colonne di sostegno delle gomene, le quali mascheravano la facciata dell'Hôtel degli Invalidi. E il Governo rinunziava al ponte degli Invalidi, sebbene le spese per la demolizione ed il diverso impiego dei materiali superassero di assai la somma che prevedevasi necessaria al consolidamento dei sostegni del ponte.

*

Nel 1829 veniva eretto un ponte sospeso, 200 metri più a valle, sull'asse del viale d'Antin; che fu poi trasformato nel 1854 in un ponte in muratura, l'attuale ponte degli Invalidi.

Il palazzo dell'Industria venne poi in occasione dell'Esposizione del 1855 ad elevarsi nei Campi Elisi trasversalmente all'asse della spianata degli Invalidi, onde qualsiasi idea di attraversare in quel punto la Senna perdeva per molti anni ogni scopo pratico.

In questi ultimi tempi l'ingombro sempre crescente della circolazione sul ponte della Concordia, e la costruzione nel 1893 della stazione ferroviaria della Compagnia dell'Ovest, *la gare des Invalides*, avendo fatto sentire maggiormente la necessità di una nuova attraversata della Senna in quelle vicinanze, erasi proposto di gettare un ponte sul prolungamento dell'asse della via di Constantine, nello scopo di venire a sboccare lungo la facciata Est del palazzo dell'Industria.

Ma la scelta della località e lo studio del piano generale dell'Esposizione del 1900 avendo condotto, come abbiamo veduto, alla demolizione del palazzo dell'Industria, ed all'apertura di una grande *avenue* tra i Campi Elisi e la spianata degli Invalidi, verificandosi così per le idee, ciò che Orazio prediceva dei vocaboli: *multa renascentur quae jam cecidere*, il progetto del ponte di Constantine veniva ad essere abbandonato, e nel programma dei lavori della nuova Esposizione veniva necessariamente ad essere compresa la costruzione di un nuovo ponte attraverso la Senna, di carattere monumentale, e che rispondesse non solo ad uno scopo di comodità, ma a quello eminentemente decorativo, a cui era chiamato dalla località stessa e dalla grande occasione di trovarsi nel recinto della grande Esposizione.

Ed eccoci quindi ritornati all'idea antica, proseguita dal Navier, ed alle difficoltà di ordine estetico che essa aveva

fin d'allora incontrato, non meno che a quelle di ordine tecnico notevolmente accresciute dallo sviluppo ben più considerevole della navigazione sotto il ponte, e dalla maggior larghezza che dovevasi dare al ponte per le nuove condizioni nelle quali l'opera stessa veniva ad essere creata.

Gl'ingegneri Résal ed Alby (1) che avevano terminato allora di occuparsi della costruzione del ponte Mirabeau, furono incaricati di studiare, d'accordo col Servizio della navigazione, le condizioni del nuovo ponte.

Il progetto doveva ottenere l'approvazione del Ministero dei Lavori Pubblici per tutto ciò che riguardava le condizioni tecniche della costruzione, e quella del Commissario generale dell'Esposizione, essendosi anzi prestabilito che gli architetti della medesima avrebbero collaborato per la decorazione.

Gli studi incominciarono nel 1895 e nel dicembre di quell'anno le prime linee di progetto erano presentate all'esame del Commissario generale dell'Esposizione. Il Consiglio generale di ponti e strade incominciò ad occuparsene nel giugno 1896, dopo l'approvazione data dal Parlamento al progetto di legge che autorizzava l'esecuzione dei lavori dell'Esposizione universale.

I progetti definitivi furono approvati il 20 gennaio 1897 per le fondazioni, ed il 13 luglio 1897 per la soprastruttura metallica. Altri progetti complementari furono successivamente approvati per le murature di sopraelevazione e per gli accessi.

La parte decorativa veniva affidata, come i lettori sanno, agli architetti Cassien Bernard e Cousin, a tale ufficio designati dalla Direzione dei servizi di architettura dell'Esposizione, e non fu definitivamente approvata dal Ministero che il 3 gennaio 1898.

*

Dati essenziali del problema. — Le discussioni per stabilire i dati principali per lo studio del progetto del ponte Alessandro III non furono nè poche, nè facili. Nella mente di coloro che avevano concepito il programma dell'Esposizione, il ponte doveva essere un'opera di carattere essenzialmente decorativo e monumentale, tale da permettere la prospettiva dell'Hôtel degli Invalidi, veduta dai Campi Elisi, da non impedire la prospettiva della Senna, veduta dal ponte della Concordia, e da presentare una larghezza che stesse in proporzione con quella di 100 metri della nuova *avenue* Nicolas II che, partendo dai Campi Elisi, doveva condurre alla spianata degli Invalidi.

D'altra parte, il ponte Alessandro III veniva a trovarsi a valle di una risvolta che ha per effetto di portare la corrente contro la sponda destra, ed a monte del ponte degli Invalidi, a così poca distanza dal medesimo, che i convogli

(1) *Jean Résal*, Ingegnere-Capo di Ponti e Strade, nato nel 1854 — figlio dell'illustre Résal, membro dell'*Institut* e che professò meccanica nella Scuola politecnica — si laureò Ingegnere nel 1874, e percorse rapidamente la sua carriera nel Corpo di Ponti e Strade, essendone Ingegnere-Capo dal 1882. Da Nantes, ov'ebbe la sua prima residenza, chiamato a Parigi nel 1889, ebbe, tra gli altri servizi, ad occuparsi della direzione dei lavori di costruzione del ponte Mirabeau. Nel 1897 fu pure nominato Ingegnere in capo di tutte le costruzioni metalliche dell'Esposizione. Dal 1893 egli è professore alla Scuola di Ponti e Strade, e le sue lezioni sono assai apprezzate, come quelle che alle cognizioni teoriche profonde uniscono gli accorgimenti dell'esperienza e della pratica professionale.

Amédée Alby, Ingegnere di Ponti e Strade dal 1885, e collaboratore di Résal, nato nel 1862, dopo essersi distinto a Clermont nei lavori di correzione del corso dell'Oise, fu chiamato a Parigi, particolarmente addetto al servizio della navigazione della Senna, ed ebbe pure a studiare il progetto del Ponte di Constantine. Aggiunto all'ing. Résal per lo studio del progetto del Ponte Alessandro e dei ponti e passerelle per l'Esposizione, si occupò dell'esecuzione di tutti i lavori del Ponte Alessandro, compresi pure i lavori di fondazione coll'aria compressa e la costruzione delle murature di sopraelevazione.

di navigazione si trovano simultaneamente sotto i due ponti. Onde, il servizio della Marina non potendo rinunciare ai treni navali, per i quali il Governo ha fatto gravi sacrifici, poneva la condizione assoluta che il ponte Alessandro III non avesse pile nell'alveo, e pretendeva altresì si fosse tenuto conto nell'altimetria dell'opera, della necessità per i convogli discendenti di avvicinarsi alla sponda destra per infilare convenientemente il ponte degli Invalidi sotto l'arcata di destra.

Le quali ultime condizioni erano evidentemente inconciliabili colle prime, poichè esigevano un ponte col tavolato orizzontale e l'ossatura metallica al disopra del medesimo. Nè mancarono studi e progetti intesi a soddisfare completamente queste condizioni del servizio di navigazione; parecchi ricorsero perfino ad un'arcata dissimetrica. Ma nessuna proposta potè venire accettata dal punto di vista dell'estetica.

Un ponte ad una sola arcata, tenuta al livello il più elevato possibile compatibilmente colle esigenze prospettiche della viabilità sopra il medesimo, era dunque la sola soluzione accettabile che meno si allontanasse dai desideri dell'Amministrazione della Marina. D'altronde nel caso particolare le considerazioni d'ordine estetico dovevano evidentemente ricevere una soddisfazione più completa a preferenza di quelle di ordine puramente tecnico. A peggio andare gli inconvenienti della nuova situazione per la navigazione non erano irrimediabili, e dato che l'esperienza ne provasse la necessità, potrà sempre rifarsi il ponte degli Invalidi, facendone sparire la pila centrale.

Il livello della carreggiata del ponte fu stabilito in modo che la visuale di chi si trovasse sull'asse dell'*avenue* dei Campi Elisi, sfiorando la sommità del ponte potesse lambire la base dell'*Hôtel des Invalides*. A questo dato fondamentale si subordinarono tutti gli altri dati del progetto.

Dimensioni principali del ponte. — L'asse longitudinale del ponte, che è quello della nuova *avenue*, fa coll'asse della via di navigazione un angolo che poco differisce dall'angolo retto, essendo di $83^{\circ} 38'$.

La distanza tra i parapetti dei due *quais* è di 155 metri, ma il letto della Senna non occupa che la parte centrale, lasciando a destra e sinistra due basse banchine (*basse-ports*) di m. 22,50 di larghezza ciascuna. Le spalle del ponte sporgono di 50 centimetri circa dal muro di sostegno di dette banchine; ossia il ponte, misurato lungo il suo asse, ha la portata di 109 metri fra vivo e vivo delle due spalle.

L'arcata è del tipo a tre articolazioni o cerniere, ed a motivo di un po' di aggetto, dal vivo delle spalle, dei cuscinetti, i centri delle articolazioni all'imposta si trovano alla distanza di m. 107,50.

La parte di viadotto col quale si attraversa la bassa banchina consta (fig. 1 e 6, Tav. VII) di una prima luce che funge da cavalcavia ad una strada di servizio lungo il *quai*, e di due altre le quali fanno parte della massa murale di decorazione che si protrae lungo il *quai*. Per ultimo, dietro la linea del *quai* una trincea coperta rasenta la spalla del ponte per dar passaggio alle deviazioni provvisorie delle strade pubbliche per tutta la durata dell'Esposizione.

La larghezza del ponte (fig. 5, Tav. VI), misurata normalmente all'asse, è di 40 metri tra i parapetti e si divide in una carreggiata centrale di 20 metri, e due marciapiedi laterali di m. 10 caduno. Negli accessi al ponte questi marciapiedi contornando le masse decorative formanti terrazzo, prendono ad allargarsi per ricevere dalle due parti le scale di discesa alle basse banchine.

Il profilo longitudinale secondo l'asse del ponte è costituito da due livellette in senso opposto, con pendenza del

2 per cento, raccordate per 32 metri in sommità da un arco di cerchio di 800 metri di raggio. Nel senso trasversale il profilo parabolico della carreggiata presenta una convessità totale di cent. 20, ossia appena il centesimo della larghezza: esso presenta tuttavia presso i margini la declività del 4 per cento. La contropendenza dei marciapiedi non oltrepassa il 4 per cento.

La struttura metallica dell'arcata consta di 15 archi fra loro equidistanti.

L'arco dovendo essere estremamente ribassato, ed avere alla chiave un'altezza la più possibilmente ridotta, la condizione della triplice articolazione veniva naturalmente ad imponersi. Con ciò venivasi a diminuire notevolmente i momenti di flessione in prossimità della chiave, a poter far lavorare l'arco alla sola compressione, ed a renderne la stabilità indipendente dalle variazioni della temperatura. Con ciò veniva praticamente assicurata la possibilità di comporre l'arco con cunei di acciaio fuso inchiodati fra loro, e facendo a meno di ingombrare l'alveo del fiume con armature le quali ne avrebbero impedita per un'annata la navigazione.

L'impiego dell'acciaio fuso, da tempo adoperato dall'artiglieria e dalla marina, era pure il più indicato: la soppressione della chiodatura permette di ridurre al minimo lo spessore delle sezioni, e quindi il peso totale dell'arco. Inoltre i cunei d'acciaio fuso offrono migliori garanzie dal lato della resistenza all'ossidazione.

Essendo fissa la larghezza della luce, essendo fisso il livello del centro di articolazione dell'arco alla chiave, dovevasi necessariamente abbassare il più possibilmente l'altezza dei centri di articolazione all'imposta; e questa fu posta alla quota di m. 29,25 sul mare (fig. 1, Tav. VI), mentre il livello del fiume allo stato normale è a m. 27, e la quota della massima piena (1876) fu di m. 31,65. Il centro di articolazione alla chiave essendo alla quota di m. 35,53, esso trovavasi quindi a m. 6,83 sulle massime acque navigabili (m. 28,70) ed a m. 8,53 al disopra del livello normale del fiume.

La freccia dell'arco fra le articolazioni risulta così di m. 6,28, ossia l'arco è ribassato dell'1/17,12. Nel primo progetto di massima del 1895 la monta dell'arco non era che di 1/20; ma la spinta considerevolissima che ne risultava fu la preoccupazione costante degli autori del progetto, per la inquietudine che lasciava negli animi la poca buona qualità del suolo di fondazione.

Si ricordavano d'altronde gli accidenti toccati al ponte sospeso di Navier nel 1826, al ponte dell'Alma nel 1855, al ponte degli Invalidi a più riprese, ed ancora nel 1878.

Portando da 1/20 ad 1/17,12 la monta dell'arco, cercando di dare all'ossatura il minimo peso, riducendo pure al minimo il peso morto dell'impalcatura, ed impiegando il metallo ad un coefficiente di resistenza assai elevato, la spinta per metro di larghezza di ponte che nel primo progetto di massima era di 345 tonn. potè essere ridotta nel progetto definitivo a tonn. 288,3. In questa cifra la spinta dovuta al sovraccarico del ponte non è che di tonn. 83,5.

PARTE II.

Fondazioni e murature di elevazione delle spalle.

Natura del sottosuolo e stabilità delle fondazioni. — Nuove e più complete operazioni di saggio del terreno sulla destra e sinistra della Senna vennero ad aggiungere dati e risultati a quelli pur numerosi che già si conoscevano, e se ne concluse che potevasi fare assegnamento su di una resistenza del sottosuolo almeno uguale a quella presentata al ponte degli Invalidi.

Il sottosuolo consta di alluvioni recenti, di alluvioni antiche, e di strati di sabbie verdi, compatte ed abbastanza

resistenti, per uno spessore di 8 metri sulla sponda destra, e di 5 metri sulla sponda sinistra, i quali strati di sabbia sostengono al ponte degli Invalidi delle pressioni valutate 5 kg. per centimetro quadrato.

Fu quindi riconosciuto che le fondazioni del ponte dovevano soddisfare a queste tre condizioni:

1° Venir limitate a profondità tale da mantenere ancora al disotto delle medesime e tra desse e lo strato delle argille uno spessore di sabbie sufficiente a prevenire un cedimento nel senso verticale;

2° Assegnare alla spalla un peso sufficiente perchè in virtù del solo attrito di scorrimento sulla base, essa potesse resistere alla spinta, senza che fosse d'uopo fare assegnamento sulla contro-spinta della terra;

3° Tenere la pressione sulle fondazioni al disotto di quella raggiunta dal ponte dell'Alma.

Per soddisfare a tutte queste condizioni si riunì il muro della bassa banchina al corpo della spalla, e si è posato il tutto su di un massiccio solo di fondazione che presenta in piano 44 metri di larghezza, nel senso perpendicolare alle fronti del ponte, per m. 33,50 di lunghezza o profondità, cioè nel senso dell'asse del ponte; e che ha l'altezza di 10 metri per una sponda e di 11 metri per l'altra.

Lo studio della stabilità della spalla ha condotto ai seguenti risultati:

Pressione sui blocchi granitici d'imposta 48 kg. per cq.;

Pressione trasmessa dai blocchi granitici alla muratura ordinaria 18 kg. per cq.;

Pressione verticale massima sulle fondazioni presso lo spigolo di rovesciamento 2,5 kg. per cq.

Rapporto della spinta al peso: < di 0,50 mentre il coefficiente d'attrito di scorrimento sulle sabbie è di 0,70.

*

Esecuzione dei lavori. — I lavori di fondazione del ponte Alessandro III furono aggiudicati il 25 febbraio 1897 ai signori Letellier e Boutriquien, che hanno grande pratica di lavori ad aria compressa.

Lo studio e la costruzione dei cassoni si affidarono ai signori Daydé e Pillé, di Creil, ingegneri costruttori ai quali si deve l'esecuzione dei ponti Tolbiac e Mirabeau.

*

Particolari del cassone di fondazione. — Per la esecuzione dei massicci di fondazione delle due spalle, di cui sopra, si fece ricorso al sistema dell'aria compressa, per mezzo di un cassone solo per ogni spalla, costruito sul posto ed affondato direttamente. La lunghezza di questo cassone è, come si disse, nel senso dell'asse del ponte, di m. 33,50; e la sua larghezza, cioè nel senso perpendicolare alle fronti del ponte, è di m. 44.

La struttura metallica del cassone è tutta di acciaio dolce, della qualità comunemente adoperata nella costruzione dei ponti (42 kg. di resistenza alla trazione, e 22 0/10 di allungamento per sbarre di 200 mm.).

La fig. 37 rappresenta una sezione della parete verticale contro acqua del cassone. Come dalla figura appare, le quattro pareti esterne del cassone propriamente detto, cioè senza le parti mobili superiori da aggiungersi a misura dell'affondamento, hanno l'altezza di m. 3,68; esse sono formate da lamiere aventi la medesima altezza del cassone e 6 mm. di spessore. La loro larghezza è di m. 1,20 epperò sono riunite da coprigiunti verticali di 140 × 6 con chiodatura a tenuta.

Il lembo inferiore di queste pareti è armato di un tagliente formato di un ferro ad angolo di 100 × 100 × 12 internamente, e di un ferro piatto di 250 × 18 esternamente.

La estremità superiore di queste pareti è in egual modo terminata da una membratura delle stesse dimensioni del tagliente inferiore, onde ogni parete verticale costituisce una vera trave di m. 3,68 di altezza. E per darle maggiore rigidità, esternamente, ad ogni m. 1,20, in corrispondenza dei coprigiunti verticali delle lamiera la parete è rinforzata da nervature composte di un piatto di 200×6 e da un ferro d'angolo di $70 \times 70 \times 8$.

Il cassone propriamente detto è diviso nel senso dell'altezza da un soffitto orizzontale situato a m. 1,901 al disopra del tagliente, e separante la camera di lavoro dalla parte superiore. Questo soffitto è costituito da lamiera di 5 mm. di spessore raccomandate alla piattabanda inferiore di un sistema di travi a traliccio occupanti in altezza tutta l'altezza di m. 1,610 della parte superiore del cassone, e disposte parallelamente alla direzione del fiume alla distanza tra loro di m. 1,20. Questa travatura, oltre a dare la voluta rigidità al cielo della camera di lavoro, deve pure sopportare il massiccio di muratura, che è eseguito superiormente all'aria libera, fin tanto che l'affondamento totale del cassone sia compiuto e la camera di lavoro possa venire riempita di calcestruzzo.

Questa travatura che diremo superiore o longitudinale è inoltre sostenuta in quattro punti intermedi della sua lunghezza da un sistema di travi trasversali, alte come la camera di lavoro, e attraversanti la camera stessa in direzione perpendicolare al fiume, alla reciproca distanza di m. 9,60 tra asse ed asse. La camera di lavoro si trova così divisa in 5 scompartimenti (i tre di mezzo rettangolari, e i due estremi trapezoidali), i quali comunicano nondimeno fra loro, poichè nella parte centrale le pareti verticali di quelle travi sono a traliccio.

Stante le grandi dimensioni del cassone si è creduto necessario assicurare meglio il sostegno del medesimo venendo in aiuto ai taglienti delle pareti di perimetro, coll'armare pure di tali taglienti le pareti verticali delle travi trasversali interne anzidette, le quali pertanto riportano anche esse sul suolo, in una certa misura, la pressione prodotta dal peso del cassone e della muratura eseguita sopra il medesimo; nello stesso tempo rilegano fra loro le pareti esterne del cassone parallele al fiume, le quali distano fra loro di metri 33,50. Onde si può dire che a vece di un unico cassone, se ne abbiano cinque contigui e in tutto solidali, mentre il calcestruzzo che le dovrà riempire formerà un solo monolite.

Le pareti divisorie dei 5 scompartimenti della camera di lavoro, per la lunghezza di soli 9 metri a partire da ciascuna delle estremità, constano di un'anima piena di 7 mm. di spessore, rinforzata da montanti verticali a distanza di m. 1,20 tra loro e da diagonali, in ferri d'angolo di $70 \times 70 \times 7$ fissate direttamente alla parete. La parte centrale invece, mancando l'anima piena, è semplicemente costituita dai ferri d'angolo verticali ed inclinati.

Infine la parete verticale di perimetro del cassone è ancora consolidata al cielo o soffitto della camera di lavoro per mezzo di mensoloni distanti fra loro di m. 1,20 e quindi attaccati alla parete medesima in corrispondenza dei ferri verticali di rinforzo ai coprigiunti delle lamiera.

Alle nervature inclinate di queste mensole è fissata dalla parte interna una lamiera di mm. 4,5 di spessore, che va da una mensola all'altra e dal ferro d'angolo del tagliente inferiore alla lamiera del soffitto. La quale disposizione, che d'altronde non è più una novità, permette di riempire di calcestruzzo il vuoto prismatico compreso fra la parete esteriore e la lamiera inclinata, accrescendo considerevolmente la rigidità del cassone, e le garanzie di una perfetta ermeticità.

I cinque compartimenti della camera di lavoro comunicano ciascuno coll'esterno per mezzo di due camini. Sonvi quindi 10 aperture di 1 m. di diametro attraversanti il soffitto della camera di lavoro per dar passaggio ai dieci camini, muniti di scale per il personale, e di apparecchi per la discesa dei materiali, e per il sollevamento delle materie scavate.

Le alzate destinate a formare cassa al disopra del cassone propriamente detto, e ad aumentare di altezza a misura dell'approfondimento del cassone, sono lamiera dello spessore di mm. 4 per i primi m. 4,50 d'altezza, e superiormente di 3 mm. Queste alzate, come meglio appare dalla fig. 37, sono mantenute a loro posto da nervature verticali armate da puntoni costituiti di due ferri d'angolo obliqui e da una saetta orizzontale, nello scopo di opporsi al rovesciamento sotto l'azione della spinta dell'acqua.

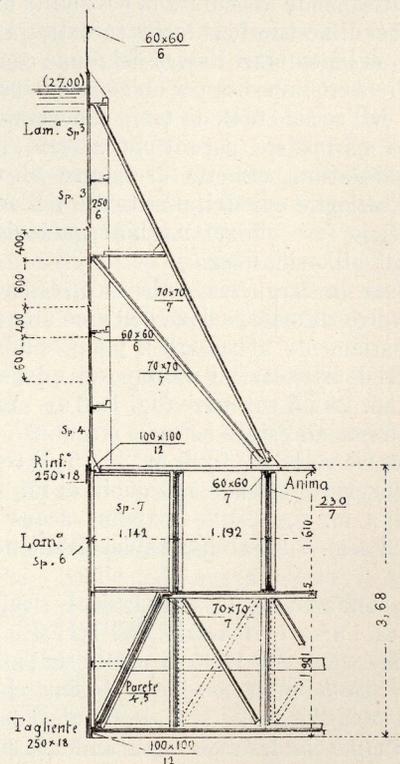


Fig. 37. — Sezione della parete verticale del cassone di fondazione.

Di tali puntoni ve ne sono tre contro le pareti a monte ed a valle, e quattro contro ciascuna delle due pareti longitudinali.

Inoltre le lamiera costituenti le alzate sono munite ad ogni metro di altezza di ferri d'angolo orizzontali.

Le alzate sono fisse per tre lati del cassone, ma per la faccia longitudinale che lambisce il fiume oltrechè è lasciato uno spazio libero di m. 0,75 tra la lamiera e la muratura per permettere la posa della pietra da taglio, le dette alzate sono mobili a partire da una certa altezza in modo da poter lasciare allo scoperto il paramento della spalla all'epoca delle più basse acque. A tale effetto le alzate mobili hanno 4 mm. di spessore, e sono terminate su tutto il loro contorno da un ferro d'angolo di $60 \times 60 \times 6$, formando così dei quadri che si possono facilmente fissare a posto con chiavarde, e levare.

Tutti i giunti del cassone e delle alzate si fecero con interposizione di feltro imbevuto di bitume per assicurare la ermeticità, la quale non ha mai lasciato a desiderare.

I dieci camini attraversanti il soffitto della camera di lavoro sono di lamiera di 7 mm. di spessore ed hanno il diametro interno di m. 1,05, ridotto a m. 0,910 nel punto d'attacco al soffitto predetto dalla presenza di un ferro di angolo interno di $70 \times 70 \times 7$. L'Impresa ha adottato il partito di dare subito da bel principio ai camini tutta l'altezza necessaria per compiere l'affondamento del cassone. E con ciò essa ha potuto stabilire all'altezza di m. 7,30 sul cassone stesso un'impalcatura di servizio sulla quale potè disporre dei piccoli binari di servizio per i vagonetti di scarico degli sterri. L'impalcatura prese appoggio sulle travi stesse del soffitto del cassone, ed i sostegni furono disposti per modo da permettere a metà altezza la costruzione di una seconda impalcatura, la quale venne così a corrispondere al livello superiore della muratura a cassone completamente affondato. Ebbesi così un opportuno palco di servizio per l'esecuzione delle murature e per il riempimento con calcestruzzo della camera di lavoro.

Queste ingegnose disposizioni hanno permesso di ridurre al *minimum* la mano d'opera, le spese di trasporto dei materiali, e soprattutto i cambiamenti dell'impianto durante la discesa del cassone.

*

Estrazione degli sterri. — Quest'operazione venne eseguita secondo due sistemi differenti. Dapprincipio riusciva più facile e più economico all'impresa di far passare gli sterri al disotto della parete verticale del cassone versandoli nel letto del fiume, di dove erano ripresi e sollevati da una draga. Questo sistema fu permesso dagli ingegneri direttori dei lavori fino a che l'affondamento del cassone arrivò a m. 3,50, non permettendosi di approfondire gli scavi nel letto della Senna, anche in un punto limitato, al disotto della quota di m. 22,50.

Successivamente il sollevamento degli scavi si effettuò attraverso i camini per mezzo di verricelli azionati da motori ad aria compressa. Le bigoncie versavano in vagonetti scorrevoli sui binari della impalcatura superiore. Dapprima si tentò di versare direttamente le materie di scavo dai vagonetti nei sottostanti battelli per mezzo di incanalatori, ma vi si dovette presto rinunciare; la mano d'opera necessaria per dare assetto a questi materiali sul battello era molto dispendiosa, e gli operai erano esposti a continui pericoli per l'urto dei pezzi solidi dei detriti che, cadendo a terra, rimbalzavano. Onde gli scavi venivano più semplicemente versati nel letto del fiume, e di seguito ripresi colla draga.

L'aria compressa necessaria sia per l'estrazione meccanica degli scavi, sia per il rinnovamento dell'aria nella camera di lavoro, essendo presa dalla canalizzazione Popp, che passa al Ponte della Concordia, ed ha la pressione di 5 kg., era fatta attraversare all'uscita dal contatore in un serbatoio di espansione, nel quale si riduceva alla pressione sufficiente allo scopo cui era destinata. Un focolare sotto di questo serbatoio permetteva nei giorni freddi di riscaldare l'aria, evitando la condensazione nelle condotture.

L'illuminazione elettrica della camera di lavoro per tutte le 24 ore della giornata, essendo una condizione imposta dai capitoli d'onere, fu impiantata una piccola officina elettrica; due motori a vapore verticali (Ravorth), a due cilindri, di 25 cav. ciascuno, azionavano ciascuno direttamente, a 500 giri, una dinamo a corrente continua. Un gruppo solo era sufficiente, l'altro era di riserva. Il vapore era somministrato pure da due generatori appositi, di cui uno di riserva.

La corrente era data a 140 volts; nell'interno della camera di lavoro avevansi 130 lampadine ad incandescenza di 16 candele riunite in serie due a due; ma difficilmente ne stavano contemporaneamente accese più di 100.

Esternamente l'illuminazione sulle impalcature era data

da gruppi di 4 lampadine da 50 candele nei punti più necessari alle manovre del carico e scarico dei vagonetti.

Il consumo giornaliero riuscì in media di 2000 ettowatt-ora dei quali 1600 per la camera di lavoro e 400 per l'illuminazione all'esterno. Il costo dell'ettowatt-ora risultò di fr. 0,06.

In previsione di una improvvisa mancanza della corrente elettrica era prescritto che all'orifizio di tutti i camini restasse continuamente una lanterna con candela accesa.

La regolarità degli strati di terreno incontrati sulle due sponde del fiume ha facilitato assai la discesa del cassone. I soli ostacoli incontrati furono i pali di fondazione dei murazzi e dei massicci dei piloni del ponte sospeso di Navier; dei quali pali se ne incontrarono 300 nel cassone di sponda destra, e 110 nel cassone di sponda sinistra. Essi erano infissi nel calcare grosso o negli strati sottostanti, colla punta alla quota in media di m. 19,50. Erano pali di quercia, e furono riscontrati in istato di perfetta conservazione, malgrado i loro 75 anni di infissione.

*

Riempimento della camera di lavoro. — Raschiato a dovere il fondo e nettamente scopato; lavati e fregati con spazzole di ferro tutti i ferri, e cospersi di cemento liquido; assicurato al suolo con banchette di muratura il tagliente delle pareti di perimetro e di quelle trasversali; si procedette al riempimento di calcestruzzo degli scompartimenti del cassone, e successivamente ritirandosi da uno scompartimento all'altro per mezzo di gradinate di 40 centim. di altezza, cosicchè fu possibile conservare nell'interno la illuminazione elettrica fino alla fine dell'operazione. Ultimo lavoro era l'otturazione dei camini, e per ottenere la loro ermeticità in modo assoluto, si cominciò dal versare in ogni camino sul calcestruzzo del cassone sottostante, sopraelevato in esso di 10 centim., dei sacchi di cemento puro fino a rifiuto di penetrazione; poi si chiusero i camini con un tappo circolare di legno ben serrato con cunei; ed infine sul tappo venne versato altro cemento, e si riempì per 60 centimetri di altezza il camino con calcestruzzo. La pressione dell'aria è stata mantenuta per 48 ore dopo la chiusura dell'ultimo camino per prevenire il dilavamento del calcestruzzo. Per ultimo si smontarono i camini al disopra della parte inferiore abbandonata nella fondazione, e si terminò all'aria libera la muratura di fondazione.

*

Durata dei lavori di fondazione. — I lavori vennero agguadati il 25 febbraio 1897, l'ordine di dar principio alla loro esecuzione fu dato il 13 aprile, e dovevano essere ultimati entro un anno da questa data.

Per la spalla destra l'affondamento del cassone ha durato 64 giorni, dal 20 agosto al 24 ottobre, in ragione di 11 centimetri di abbassamento per giorno.

Per la spalla sinistra l'affondamento ha durato 57 giorni, dal 15 gennaio 1898 al 13 marzo, non essendosi lavorato per tre giorni (dal 6 al 9 marzo) per minaccia di inondazione; e quindi con un abbassamento medio giornaliero di centimetri 12,6.

Il lavoro di riempimento di calcestruzzo della camera di lavoro durò 14 giorni così per la spalla destra che per quella di sinistra.

*

Murature al disopra delle fondazioni. — Queste murature avendo dovuto essere oggetto di studio degli autori del progetto del ponte cogli architetti incaricati della parte decorativa, non se ne potè precisare il disegno che alcuni mesi dopo che già era cominciata la loro esecuzione, la quale venne affidata alla medesima impresa che eseguì le fondazioni, per mezzo di una estensione di contratto.

Questi lavori comprendono:

1° Il muro interno di sostegno delle terre per la trincea che deve dar passaggio alle deviazioni provvisorie delle vie pubbliche; per il quale si richiese una palificazione fino a raggiungere il fondo del cassone, ed il costipamento del terreno sconcertato dalla discesa del cassone, in modo da rendere effettiva la spinta delle terre. Le parti di muro a monte ed a valle del cassone, essendo protette dal murazzo di sponda vennero fondate senz'altro sul suolo naturale;

2° Il murazzo del *quai* che è portato interamente dalle fondazioni del cassone, e nei tratti a monte ed a valle della fondazione stessa, da quelle dell'antico murazzo demolito;

3° I quattro massicci di sottobase dei grandi motivi di decorazione architettonica, facenti corpo coi muri dello scalone, e la volta di testa del passaggio sulle basse banchine, con rivestimento di granito dalla risega di fondazione alla cornice. Il loro peso valutato da 1600 a 1700 tonnellate trovasi sostenuto da palificazione; i pali della grossezza di 30 × 30 cent., furono piantati a rifiuto con mazza di chilogrammi 1200, cadente da m. 1,80 di altezza. E questi pali, supponendo che tutto il peso della muratura venisse ad essere interamente sostenuto da essi, resterebbero caricati a 32 kg. per cent. q. per la spalla destra, ed a 26 kg. per la spalla sinistra. Furono prese le necessarie precauzioni perchè tali murature non fossero unite a quelle sostenute direttamente dal cassone di fondazione, se non dopo che tutte le murature di sopraelevazione avessero fatto i loro cedimenti di definitivo assetto;

4° Le arcate sostenenti l'ossatura dell'impalcato del viadotto, e che riuniscono i massicci di sottobase decorativi di cui sopra, a monte con quelle a valle;

5° I raccordamenti coi muri di sostegno delle basse banchine in prossimità delle spalle, a monte ed a valle.

(*Continua*)

G. SACHERI.

NECROLOGIA

Eugenio Beltrami

Presidente della Regia Accademia dei Lincei

NATO IL 16 NOVEMBRE 1835 — MORTO IL 18 FEBBRAIO 1900

Commemorazione

detta dal Prof. V. CERRUTI nella seduta del 4 marzo 1900
della R. Accademia dei Lincei

Il dì 18 di febbraio va registrato fra i più luttuosi dell'Accademia: dopo lunghe sofferenze sopportate con animo sereno, quando era ormai lecito presagire prossima la vittoria contro il male che lo travagliava da più anni, finiva improvvisamente di vivere il nostro amato presidente Beltrami. Altri a suo tempo dirà di lui e dell'opera sua nella scienza in modo degno. Compito più modesto è il mio: quello di mandare nel nome comune un estremo saluto al caro estinto e di richiamare per breve ora il vostro memore affetto alla contemplazione delle sue virtù.

Nacque Eugenio Beltrami in Cremona il dì 16 di novembre 1835 da famiglia nella quale era ereditario il genio per l'arte: compiuti nella città nativa gli studi secondari ebbe un posto nel Collegio Ghislieri di Pavia e frequentò per un triennio la Facoltà matematica dell'Ateneo ticinese, che vantava allora come ornamento insigne e maestro operosissimo il Brioschi. Obbligato da contingenze domestiche ad interrompere gli studi trovò nell'Amministrazione delle ferrovie, prima a Verona e poi a Milano, se non ufficio consono alle sue inclinazioni, i mezzi per superare onoratamente le prime battaglie della vita. Ma anche distratto in fatiche per loro natura lontane da ogni relazione colla scienza, seppe conservare vivo l'amore alle speculazioni matematiche, contratto alle lezioni del Brioschi e promosso più tardi dalle conversazioni e dai consigli del Cremona, quando questi nel 1860 fu per pochi mesi chiamato ad insegnare nel Liceo di S. Alessandro a Milano. Lo studio appassionato sulle opere magistrali de' più insigni geometri della Germania, rivelò al Beltrami la sua via, nella quale camminò a passi così rapidi, che nel 1862 poté mettere alla luce alcune Memorie, stampate tra quelle del quarto volume degli *Annali di matematica pura ed applicata*, dove già tutti si ammirano i pregi singolari di

eleganza e di profondità, onde furono meritamente celebrate le sue produzioni posteriori.

Questi primi saggi, apprezzati con grande favore dagli intendenti, gli meritavano nel medesimo anno la nomina a professore straordinario per l'algebra e la geometria analitica nell'Università di Bologna, e nell'anno seguente la promozione ad ordinario per la geodesia nella Università di Pisa. A Pisa rimase tre anni: ivi strinse col Betti una amicizia fraterna durata quanto la vita, ed ebbe consuetudine frequente col Riemann, che per ragioni di salute aveva fissato la sua dimora in quella città: i colloqui con questi due geometri eminenti esercitarono un influsso capitale sull'indirizzo delle sue ricerche scientifiche. Ritornato nel 1866 a Bologna vi tenne la cattedra di meccanica razionale fino al 1873, nel quale anno passò a Roma ad insegnarvi la medesima disciplina insieme coll'analisi superiore: nel 1876 cedette all'invito dell'Università di Pavia, che lo volle a sé quale professore di fisica matematica e di meccanica superiore. Spiacque agli amici ed agli ammiratori che aveva qui, di vedere l'Ateneo romano privato di un uomo che gli recava tanto lustro: dolenti del distacco, ne accompagnarono la partenza coll'augurio, che nuovi casi lo restituissero a Roma in tempo non lungo, ma l'augurio non ebbe adempimento che quindici anni dopo, nel 1891.

Queste le vicende, se vogliamo chiamarle così, della vita esteriore del Beltrami: che, tranne l'ufficio di Consigliere per l'istruzione e da ultimo quello di presidente della nostra Accademia, rifiutò sempre di accettare missioni estranee all'insegnamento ed alla scienza.

Come insegnante lodarne soltanto lo zelo e l'efficacia, sarebbe elogio troppo esiguo e troppo impari al merito: quelli che ebbero la fortuna di assistere alle sue lezioni, sanno che le dottrine più ardue e spinose acquistavano, dal magistero della sua parola, tale grado di evidenza e di semplicità da generare, in chi l'ascoltava, l'illusione che avrebbe saputo pervenire agevolmente da sé alla scoperta delle verità dichiarate dal professore. Successo invero meravigliosissimo, quando si pensi non essere aspetto delle quistioni trattate, che egli non sottoponesse a critica profonda, minuziosa, esauriente.

I suoi lavori scientifici sommano intorno ad un centinaio, di importanza sia pure ineguale quanto a' soggetti, ma tutti degni di essere proposti a modello quanto alla perfezione della forma. Felice connubio dell'intuizione geometrica colle finezze più riposte dell'analisi, indagine scrupolosa e minuta alleata con una mirabile genialità di esposizione, vasta comprensione dei metodi generali, congiunta con una rara abilità nel piegarli alle applicazioni particolari, assicurano a' suoi scritti un posto durevole nella storia delle matematiche, pur prescindendo dalle idee nuove e dai nuovi risultati, che l'universale consenso degli studiosi ormai gli riconosce. Leggendo le memorie del Beltrami, la mente corre volentieri a Lagrange, al quale assomigliò per molti rispetti anche nel tenore della vita: del resto a non poche tra le produzioni del Beltrami, l'immortale geometra torinese, non avrebbe certamente disdegnato di apporre il suo nome, quali ad esempio le ricerche di analisi applicata alla geometria, il saggio di interpretazione della geometria non euclidea, la teorica generale dei parametri differenziali, le monografie sulle superficie di area minima e sulla cinematica dei fluidi, le memorie sulle variabili complesse in una superficie qualunque e sull'equilibrio delle superficie flessibili ed inestendibili.

Malgrado lo studio che egli poneva nel celarsi alla vista del pubblico, la sua fama non tardò a dilatarsi in Italia e fuori, e il tempo l'accrebbe.

La Società italiana delle scienze nel 1870, la nostra Accademia nel 1873, l'Accademia delle scienze di Bologna, l'Istituto lombardo, l'Accademia delle scienze di Torino, la Società reale di Napoli, le Accademie delle scienze di Parigi, Gottinga e Berlino, la Società matematica di Londra, andarono a gara ad accoglierlo nel loro seno: l'anno passato, in occasione di una festa solenne per la scienza, fu con plauso unanime elevato alla dignità senatoriale. Merito tutte le distinzioni, e non ne cercò alcuna: quelle che ebbe, agli equi estimatori del suo valore non parvero mai giunte troppo presto.

Sparito inopinatamente il Brioschi, gli occhi nostri con non più veduta concordanza si rivolsero sopra il Beltrami, come quello fra di noi che meglio incarnava in sé l'ideale di una vita spesa nel culto esclusivo della scienza per la scienza: se in quel giorno nella sua straordinaria modestia provò per l'inaspettato onore sorpresa non piccola, qualche soddisfazione gli avrà pur procurato l'omaggio reso dai colleghi nella sua persona al disinteressato sacerdozio del vero.

Alieno dalle lotte che inaspriscono gli animi, non nutriva rancori: col suo giudizio, imparziale sempre e ponderato, mirava più a mettere in rilievo il bene che ad ostentare una facile severità contro i difetti di cose e di persone.

Egli è morto anzi tempo per la scienza che avrebbe continuato ad illustrare con nuove ricerche, per l'Accademia che aveva saputo trarre dalle angustie in momenti difficili, per gli amici de' quali era consigliere autorevole ed ascoltato. Ma avanti a tanta jattura consoliamoci pensando che alla scienza egli ha legato un patrimonio imperituro, all'Accademia un esempio imitabile di savia amministrazione che non andrà perduto, agli amici un ricordo soave di sé a conforto nelle ore tristi della vita.

(*Atti della R. Accad. dei Lincei*).

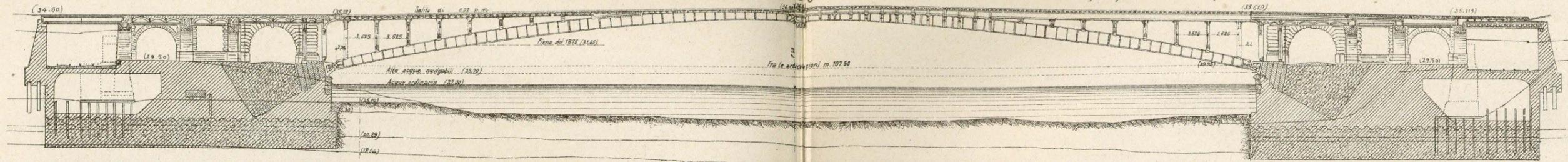


Fig. 2. — Metà sezione trasversale presso l'imposta

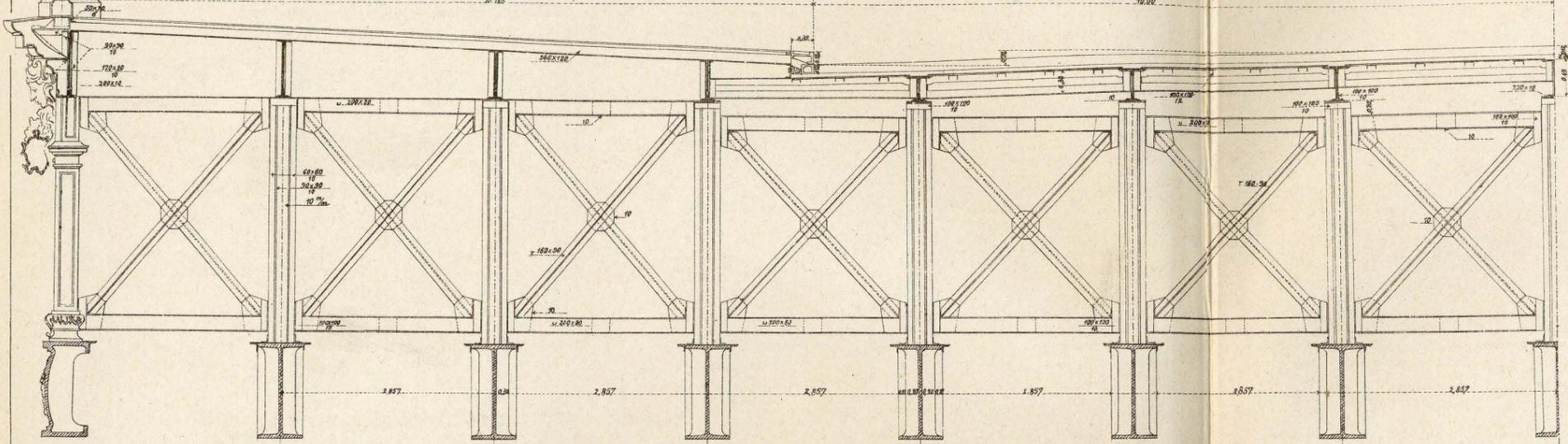


Fig. 5. — Pianta di una spalla ad opera finita.

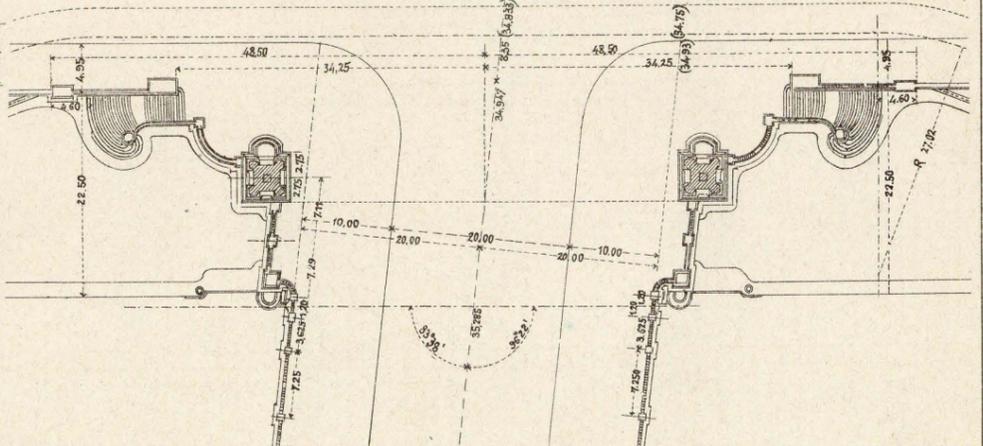


Fig. 3. — Metà sezione trasversale del piano stradale e particolari. (Presso la chiave)

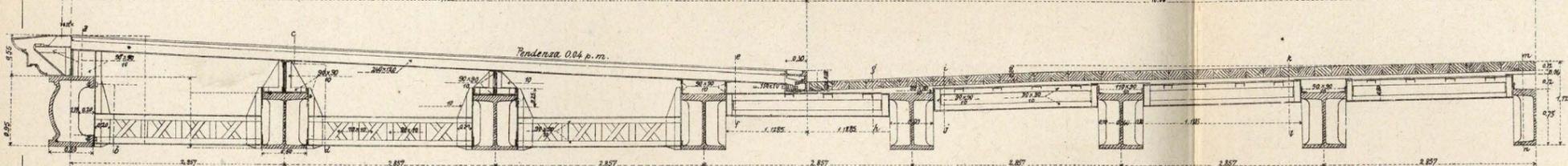


Fig. 6. — Pianta di una spalla all'imposta degli archi.

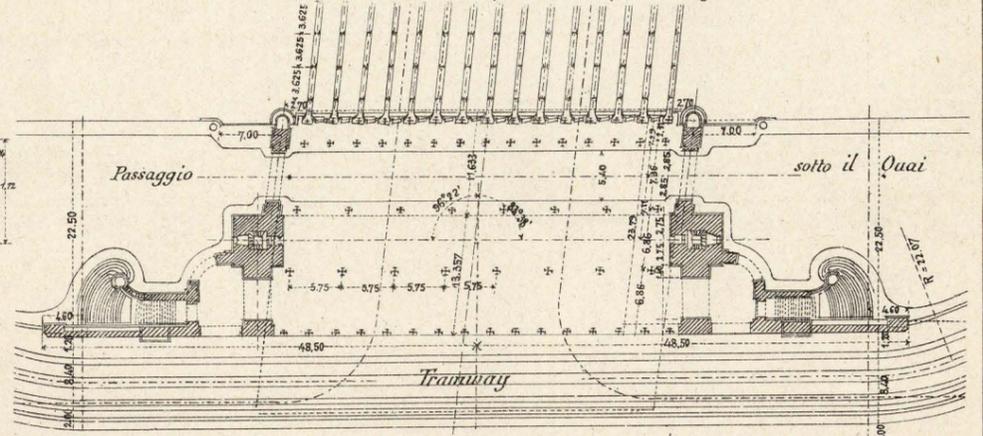
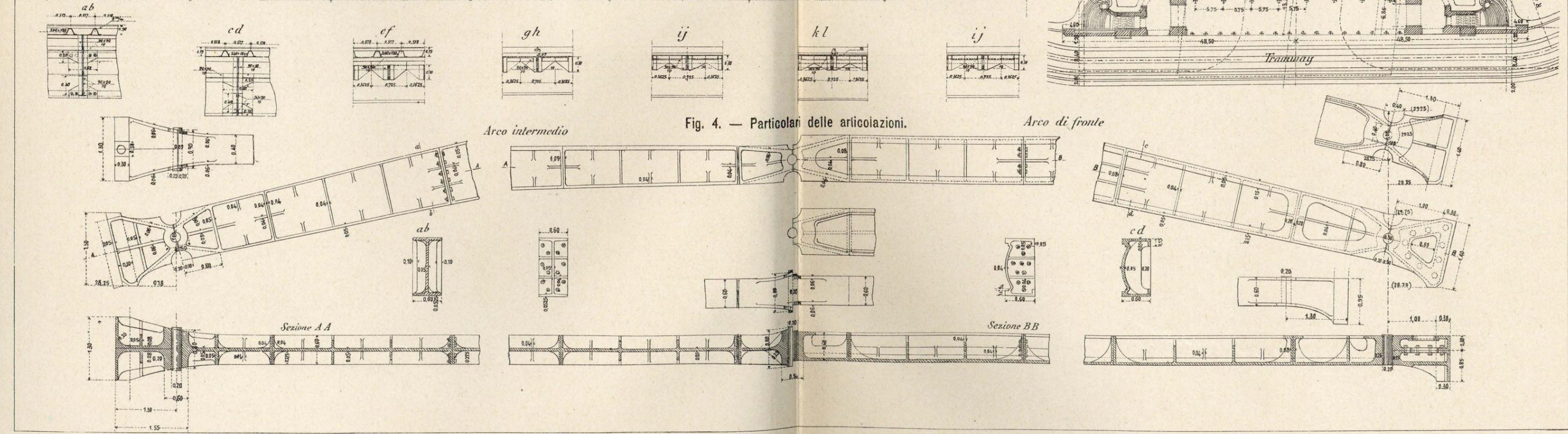


Fig. 4. — Particolari delle articolazioni.



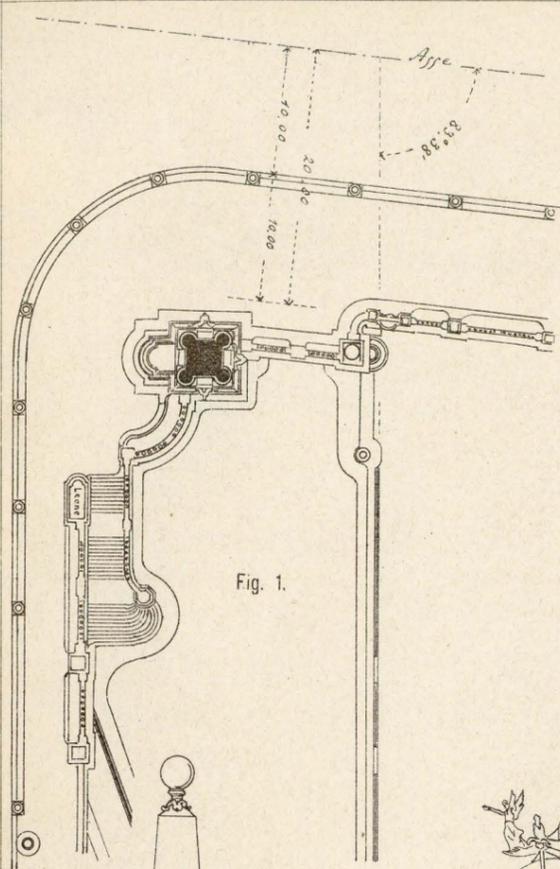


Fig. 1.

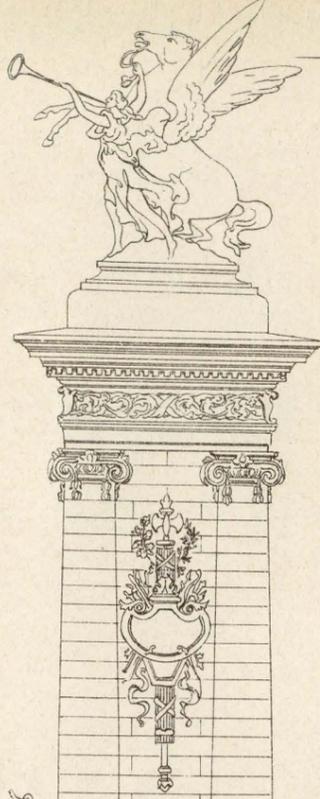


Fig. 2. — Prospetto laterale di una spalla (Arch. Cassien-Bernard e Cousin).

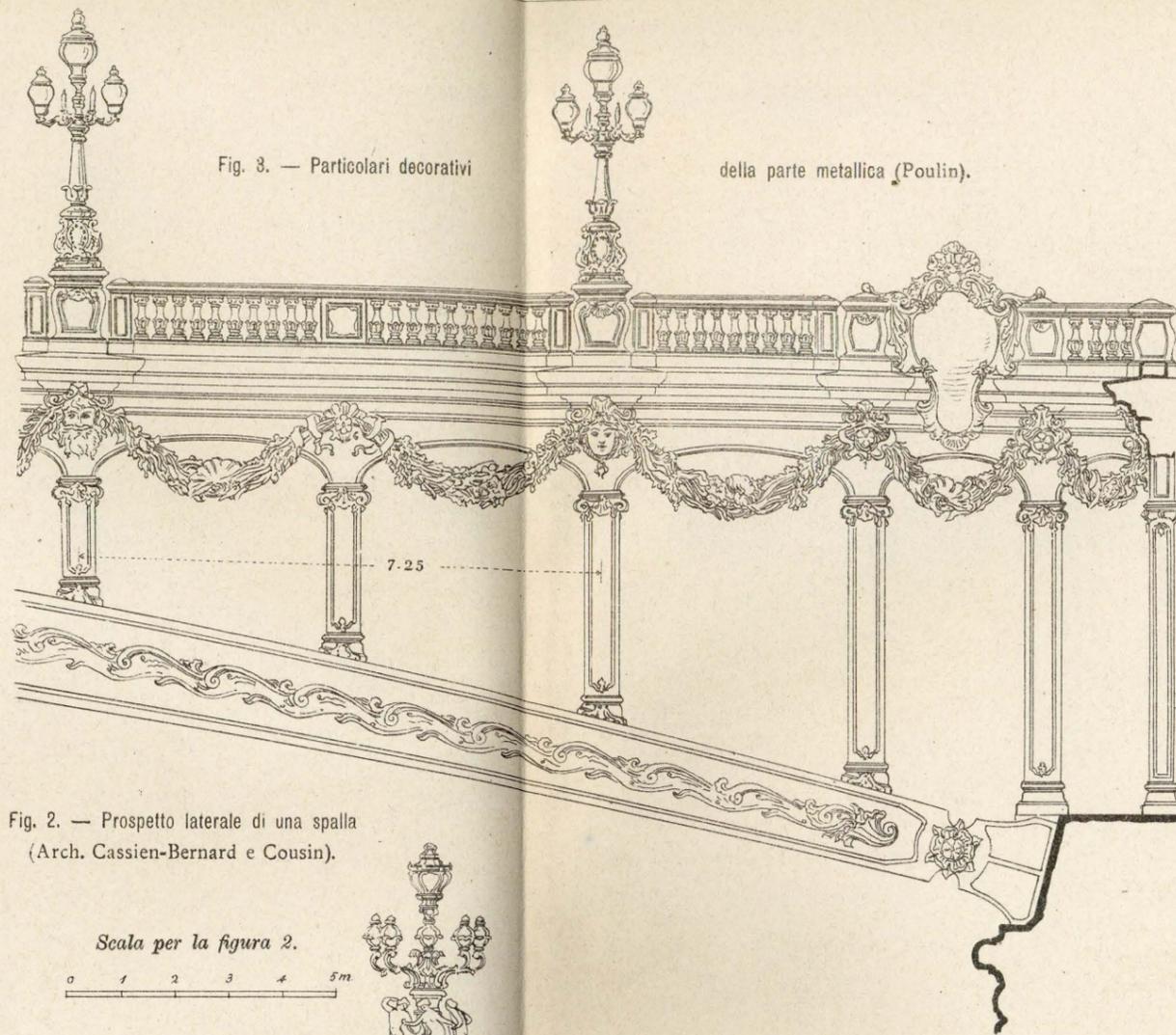


Fig. 3. — Particolari decorativi

della parte metallica (Poulin).

Scala per la figura 2.

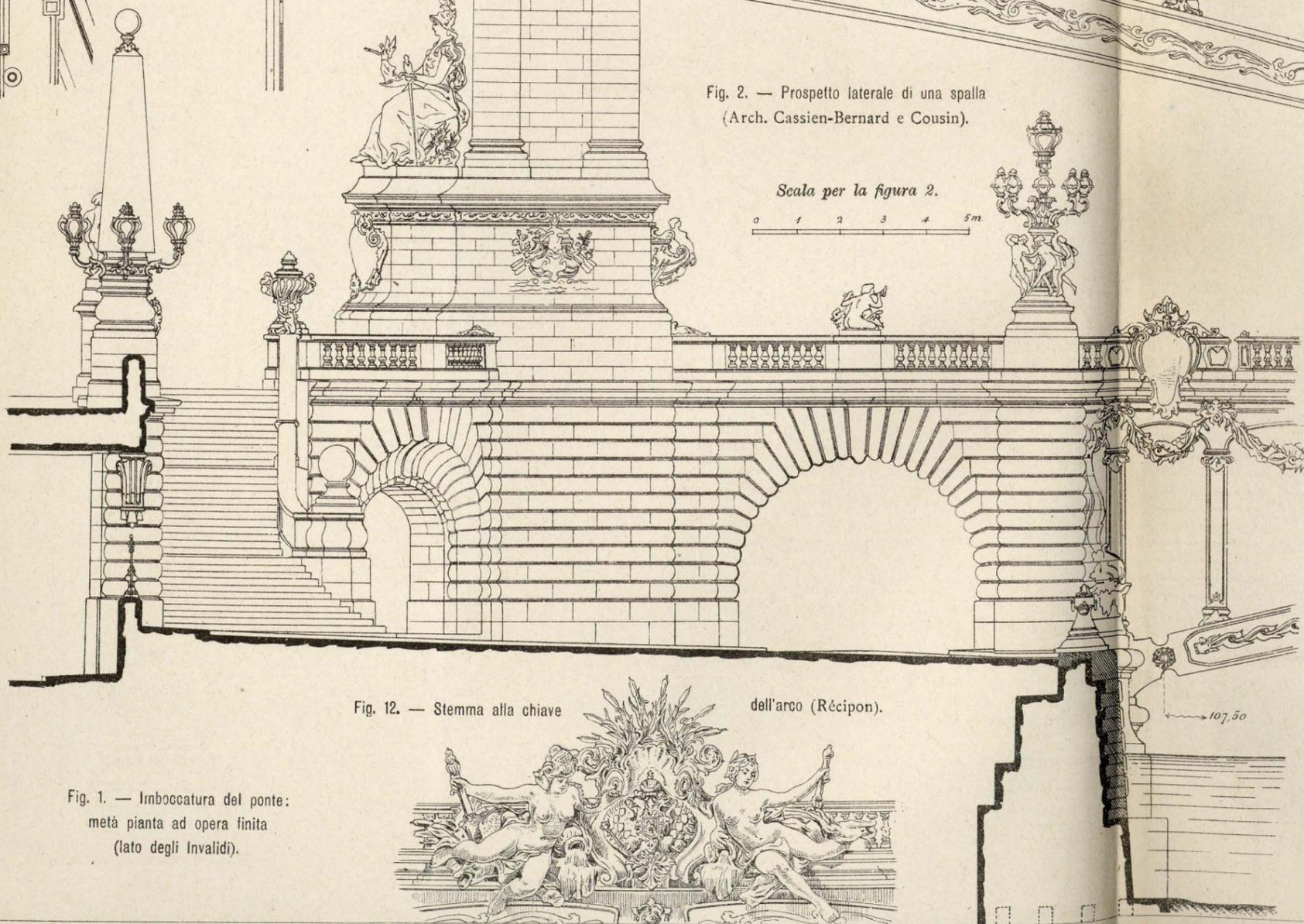
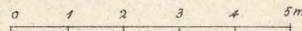


Fig. 12. — Stemma alla chiave dell'arco (Récipon).

Fig. 1. — Imboccatura del ponte: metà pianta ad opera finita (lato degli Invalidi).



Fig. 4. — La Francia romana (Lenoir).

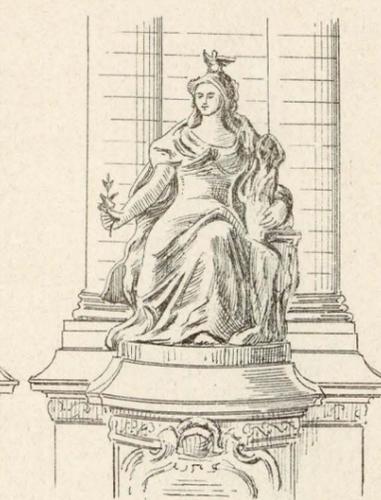


Fig. 5. — La Francia contemporanea (Michel).



Fig. 6. — La Francia di Luigi XIV (Marqueste).



Fig. 7. — La Francia del rinascimento (Coutan).



Fig. 8 e 9. Putti sul parapetto delle spalle (Massoule e Morice).



Fig. 10. Pegaso e fama di coronamento sui piloni (Frémiet, Steiner e Granet).



Fig. 11. — Lampadario sulle spalle (Gauquié).