

L'INGEGNERIA CIVILE

LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

Si discorre in fine del Fascicolo delle opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori od Editori

COSTRUZIONI IDRAULICHE

L'ADIGE SUE CONDIZIONI IDROGRAFICHE E LAVORI DI SISTEMAZIONE NEL SUO ALVEO

*Vedansi le Tavole: II (dell'anno 1890),
II, III e IV dell'annata in corso*

CAPITOLO II.

Sistemazione dell'Adige.

1. — PRELIMINARI.

Non ci occuperemo, per brevità, delle numerose inondazioni che da oltre un millennio infestarono la vallata dell'Adige (1); le dolorose catastrofi che, pur troppo, si ripetevano con grande frequenza, fecero sentire presto il bisogno di difendersi contro un nemico di questo genere; e, data la natura del fiume e dei suoi affluenti, che noi abbiamo imparato a conoscere nelle pagine precedenti, era impossibile pensare a provvedere altrimenti che mediante opere difensive, argini e simili, procurando di convogliare a valle gli immensi depositi, e di raggiungere un profilo di compensazione con opportuni tagli e drizzagni, non potendosi nemmeno, anche lontanamente, pensare a far concorrere il fiume coi suoi depositi alla colmatazione dei terreni adiacenti. L'idea di queste difese dovette sorgere prima ancora che la scienza idraulica si fosse costituita, e però dall'esecuzione loro, senza un piano d'insieme, ne dovette nascere piuttosto un peggioramento delle condizioni del fiume, che un miglioramento; poichè le difese si costruivano da chi aveva i mezzi e ne sentiva maggiormente la necessità e nel modo che sembrava migliore per un dato punto, senza curarsi delle conseguenze che ne potevano derivare nelle altre parti del fiume.

Molte di tali opere esistono tuttora lungo la vallata, senza che sia possibile stabilire l'epoca della loro costruzione.

In presenza di questo disordinato sistema di difese si sentì finalmente il bisogno di provvedervi con una sistemazione generale del fiume in base a un piano d'insieme, e nel 1747, con decreto del 15 aprile, l'imperatrice Maria Teresa stabiliva una somma all'uopo. Questa idea si incorporò nel progetto redatto nel 1805 dal maggiore del Genio militare Nowak, e che fu adottato dagli interessati; le pratiche amministrative durarono però molti anni, cosicchè solo nel 1818 fu dal Governo d'Innsbruck inoltrato al Governo imperiale, e nel 1822, con decreto del 3 ottobre, da questi approvato sopra norme direttive in esso decreto stabilite. Non ci soffermeremo sulle medesime per non dilungarci troppo, solo ci piace ricordare che già in quell'epoca il Consiglio superiore opinava doversi arrestare il trasporto dei materiali che gli affluenti dell'Adige convogliavano nel suo letto, trattenendoli nelle rispettive vallate, mediante la costruzione di serre ed impedendone la raccolta col rimboscamento delle pendici del bacino, specialmente nella parte montuosa.

La costituzione dei fondi necessari ai lavori e la ripartizione delle spese fra gli interessati, richiesero nuove trattative amministrative; nel frattempo però le opere, specialmente i drizzagni, si iniziarono e si continuarono in seguito a norma dei fondi disponibili.

Nel 1845 venne eseguito un rilevamento topografico completo

(1) Basta ricordare le ultime del 1868, 1882, 1885, 1888 e 1890.

del bacino dell'Adige da Merano al confine collo Stato Veneziano, e l'ingegnere Pasetti, incaricato della revisione del progetto, in una Relazione del 14 dicembre 1845 concluse che le norme tecniche già stabilite dal Consiglio superiore nel 1822, erano giuste e quindi da mantenersi integralmente per la sistemazione del fiume. In base alle medesime egli formulò le sue proposte, le quali vennero approvate con decreto del 12 dicembre 1846, escludendo ogni altro progetto. L'esecuzione venne subito iniziata e da allora in poi continuata proporzionalmente ai mezzi disponibili.

Per singole tratte si studiarono e compilarono progetti speciali; così ebbero origine quello di Sohm per la tratta da Gmund fino a Masetto; quello degli ingegneri Enrico Böhm e Ermanno Ritter von Schwind per la tratta Merano-Bolzano; e quello di Semrad per la tratta S. Michele-Sacco. I medesimi furono approvati da leggi emesse nel 1879, e i lavori incominciati subito e in gran parte ultimati. Nel settembre 1881 si riconobbe la necessità di sistemare altresì la tratta fra Bolzano e Gmund che era stata ritenuta fino allora come non bisognosa di lavori.

È evidente che col succedersi degli anni e col procedere dei lavori, i progetti primitivi andarono sempre più sviluppandosi e completandosi. Nel 1886 si deliberò di sottoporli ad una Commissione per una revisione generale, alla quale si volle fare precedere un parere tecnico di persona competentissima; ne venne dato incarico all'ispettore superiore svizzero Adolfo von Salis, il quale ha esteso il suo parere in data 23 agosto 1886. In seguito la Commissione intraprese il suo lavoro, che durò dal 20 settembre al 31 ottobre 1886. In base alle proposte di questa Commissione si compilò il nuovo progetto che fu presentato nel settembre 1887 e della cui revisione venne appunto incaricato l'ispettore superiore Weber Ritter von Ebenhof.

Nel 1891 si sentì il bisogno di riprendere nuovamente in esame le sezioni di scolo stabilite per l'Adige, e questa revisione fu pure eseguita sotto la direzione di Weber.

Oggi la sistemazione del fiume è completa nella prima sezione fra Merano e Bolzano, e venne già consegnata al Consorzio per la manutenzione; nelle altre sezioni invece, seconda e terza, dal ponte per la ferrovia presso Gmund fino a S. Michele, e da qui a Sacco, i lavori sono in piena attività e si avvicinano al loro compimento.

2. — LINEE GENERALI DEL PROGETTO.

Il progetto per la sistemazione dell'Adige da Merano a Sacco divide l'asta del fiume in tre sezioni, la prima delle quali si suddivide in due tratte, per cui tutta la lunghezza può ripartirsi come segue:

Sezione I. Dalla foce del Passer presso Merano fino a 600 metri a valle del manufatto che divide l'Adige dall'Isargo a valle di Bolzano, lunghezza	Km.	28,70
Sezione I a). Dal manufatto precedente fino al ponte della ferrovia presso Gmund	id.	11,80
Sezione II. Dal ponte di Gmund a quello di S. Michele	id.	23,50
Sezione III. Dal ponte di S. Michele fino alla influenza del Leno presso Sacco a valle di Rovereto	id.	41,00
Lunghezza totale Km.		105,00

Nelle tratte comprese fra l'origine e Merano, e fra Sacco e il confine italiano, si eseguirono dei lavori nei punti più

minacciati e in base ad altri progetti speciali non contemplati nella sistemazione generale di cui stiamo parlando.

Nel progetto in esame si rinunciò al sistema di colmatazioni per mezzo delle piene, in causa della pendenza troppo considerevole del fiume, ed anche per la posizione speciale degli abitati, i quali si sarebbero trovati esposti alla violenza di tali piene e avrebbero richiesto, in ogni caso, degli argini di difesa. Perciò si stabilì di procurare all'Adige un alveo sicuro e stabile, nel quale le acque potessero smaltirsi senza straripare ed andare a inondare i paesi così fortemente minacciati. A tal uopo non vi era altra scelta che il sistema di un'arginatura continua e colla cresta insommergiabile. Con ciò non si è inteso però di escludere totalmente la colmatazione, la quale, benchè non sia stata tenuta di mira, pure potrà attuarsi allorchando il letto del fiume avrà raggiunto un profilo di compensazione stabile.

L'insommergiabilità degli argini si è determinata fissando l'altezza della cresta a m. 0,60 al disopra delle massime piene, che furono quelle degli anni 1882 e 1885.

L'arginatura è continua per impedire che il fiume sbocasse attraverso alle interruzioni che si fossero lasciate, e precipitando nella vallata non andasse ad inondare gran parte della medesima. Gli argini sono protetti contro gli attacchi dell'acqua da una scarpata inclinata a due terzi e rivestita di muratura; alla corona si è assegnata una larghezza conveniente e una forte inclinazione alla scarpata esterna, la quale in molti siti viene rinforzata da banchine, controbanchine ed anche da scogliere, dove il bisogno lo richiede.

La sezione di scolo è doppia, si compone cioè di una parte interna con scarpate inclinate a 2 : 3 e di una sezione maggiore ottenuta con golene laterali alla medesima, dalle quali si elevano gli argini che costituiscono le due sponde e la cui scarpata interna è inclinata di 1 : 2. La prima parte della sezione è destinata alle acque magre ed alle piene ordinarie; la seconda deve contenere le massime piene; quella è difesa da rivestimenti nelle scarpate, questa varia di grandezza, e con essa la larghezza delle golene, secondo i vari tratti; il criterio direttivo essendo stato quello di creare in ogni tratta una sezione corrispondente a contenere e smaltire le massime piene di essa; perciò nei luoghi dove l'alveo era troppo stretto, si è ottenuta tale sezione tagliando e scavando; in quelli, invece, dove era troppo largo, restringendo a mezzo di argini e di opere speciali atte a mantenere e convogliare le acque nell'alveo creato.

L'andamento planimetrico della sistemazione è costituito da una linea continua composta di rette e archi di cerchio, innestandosi reciprocamente, senza dare luogo ad angoli o sporgenze di nessuna specie, per evitare i gorghi, i vortici, le erosioni e simili. Quando l'andamento riusciva troppo tormentato, si ricorse a drizzagni e tagli, i quali furono pure previsti là dove i depositi degli influenti raggiungono altezze considerevoli ed occorre dare al fiume una pendenza maggiore, capace di provocare lo sgombrò dei medesimi. Con questi approfondamenti del letto si arrivò in molti punti a fare cessare i ristagni all'amonte dei con di deiezione, ed a liberare così le località da impaludamenti dannosissimi.

Pei ponti esistenti sull'Adige e la cui luce non era in rapporto colle nuove sezioni di scolo adottate, vennero previsti dei nuovi ponti con luce conveniente, specialmente quelli per la ferrovia presso Gmund e S. Michele e il ponte in muratura di S. Lorenzo presso Trento per strada ordinaria sostituito da uno pure in ferro.

Alla foce dei più importanti influenti si eseguirono opere di sistemazione di divisione fra il recipiente e l'influente; il riempimento e la colmatazione degli alvei abbandonati si provocò mediante traverse e dighe sommergibili di pietre, gabbioni ed altre opere vive.

Le terre impaludate od occupate da ristagni vennero prosciugate mediante opportuni canali di scolo, o allargando quelli già esistenti, e, per impedire i rigurgiti delle piene, molti canali si munirono di chiuse o serre secondo i casi.

Finalmente una parte non ultima del progetto è quella destinata a correggere gli influenti, che trasportano la maggior quantità di materiale, mediante traverse veramente grandiose, delle quali parleremo in appresso.

Esposti così i criteri generali che hanno servito di base nella redazione del progetto, accenneremo brevemente alla loro applicazione nelle singole sezioni.

3. — I. SEZIONE. DA MERANO ALLA FOCE DELL'ISARGO.

In questa tratta la portata dell'Adige nelle massime magre si potè determinare facilmente, e quindi anche la sezione corrispondente; non così quella delle massime piene, non essendo in alcun punto una porzione di alveo regolare. Perciò si dovette ricorrere al calcolo ed assegnare una sezione ottenuta dalla quantità d'acqua da smaltirsi e dalla pendenza del letto.

La caduta totale dalla foce del Passer a quella dell'Isargo è di m. 60; la sezione di scolo non è trapezoidale, ma pentagona, allo scopo di concentrare il filo della corrente nel mezzo del letto, dove si ha la massima profondità: questa è di m. 2,40; la larghezza in bocca è di m. 40; l'area risulta così di m. q. 70,5608, ed essendo di m. 1,4337 la velocità media dell'acqua per minuto secondo, si ha una portata di m. c. 101,163 per minuto secondo. Siccome la portata ottenuta in modo empirico è risultata di m. c. 120, la sezione non sarebbe più sufficiente e nelle piene ordinarie le golene verrebbero bagnate, per la qual cosa nell'esecuzione la sezione venne alquanto ingrandita.

La sezione per le massime piene si compone della precedente, ossia m. q. 70,56
e di quella corrispondente al trapezio sovrastante, ossia id. 302,90

quindi in complesso m. q. 373,46

ed essendosi calcolata la velocità media dell'acqua nelle piene a m. 2,019 per minuto secondo, la portata risulta di m. c. 754 per minuto secondo. La portata reale fu valutata da periti in m. c. 670; la sezione è quindi sufficiente. Le due sezioni, per le piene ordinarie e per le massime, stanno così fra loro nel rapporto di 1 : 4,275; mentre le loro portate, in causa delle diverse velocità, stanno come 1 : 7,45. Il rapporto fra l'altezza dell'acqua e la larghezza al fondo della sezione è di 1 : 20 per le acque ordinarie e di 1 : 41,9 per le massime piene, e quello della larghezza dello specchio all'altezza dell'acqua di 1 : 16 $\frac{1}{3}$, rispettivamente di 1 : 24,8.

In questa prima tratta abbiamo già detto che i lavori sono completamente finiti; il profilo del letto mostra, per rispetto al primitivo, una grande regolarità risultante da approfondamenti e rialzamenti parziali, e specialmente dallo sgombrò avvenuto dei depositi provenienti dai con di deiezione dei vari influenti. Questo risultato è soddisfacente, e può già considerarsi come un profilo di compensazione, purchè si correggano gli influenti e si trattengano nei loro alvei i materiali che si raccolgono nel bacino di alimentazione.

Drizzagni furono eseguiti solamente dove occorreva evitare delle risvolte troppo pericolose e in alcuni punti nel corso superiore, dove il fiume si era diviso in tanti bracci che era necessario riunire, ed impedire che nuovamente divagassero. Le prime due figure della tavola II, anno XVI (1890), di questo periodico, danno un'idea generale della sistemazione fatta.

La spesa occorsa per questa sistemazione, a partire dal 1879, è stata di L. 5585516. Il concorso dello Stato fu di L. 3 293 868; quello del Consorzio di L. 1 117 032; il resto fu pagato dalle Amministrazioni locali e dalla Società della ferrovia Bolzano-Merano.

4. — I SEZIONE a). DALLA FOCE DELL'ISARGO AL PONTE DI GMUND.

In questo tratto esistevano quasi in tutta la lunghezza delle arginature antiche, le quali avevano direzioni e larghezze svariate, talvolta pericolose; pur tuttavia il volerle demolire per sostituirvene altre più razionali, avrebbe richiesto una spesa enorme e non in rapporto ai vantaggi da ottenersi; si è quindi preferito di utilizzarle alla meglio correggendo, raddrizzando, allargando e restringendo secondo i casi; in qualche raro punto si costruirono pure dei nuovi argini (fig. 3 e 4 della tav. II, anno 1890).

La portata delle massime piene, mentre nella sezione pre-

cedente era stata constatata in circa 700 m. c., in questa seconda tratta e nella sezione successiva, in causa della riunione con l'Isargo, veniva calcolata a m. c. 1373 per minuto secondo; per contenere tanta quantità d'acque si dovettero rialzare tutte le antiche arginature.

Nel letto si è previsto un approfondamento generale.

All'estremità di questa tratta trovansi il ponte della ferrovia di Gmund, del quale si demolirono e soppressero tutte le pile e le volte, sostituendovi una travata metallica unica le cui spalle furono convenientemente allontanate.

La spesa preventivata è di lire 3 588 910; di cui 2 117 007 vengono pagate dallo Stato; 215 379 dal Consorzio e il resto dal Governo del Tirolo e dalla Società ferroviaria del Sud.

5. — II SEZIONE. DAL PONTE FERROVIARIO PRESSO GMUND A QUELLO DI S. MICHELE.

Anche in questo tratto il progetto dovette tenere conto dei molti drizzagni e argini longitudinali già esistenti; poichè se si avesse voluto procedere in modo radicale e fare astrazione dai medesimi là dove non si adattavano al progetto, si sarebbe andato incontro ad una spesa grandissima. Così invece si cercò di utilizzarli, elevandoli dove la sezione era troppo ristretta, rinforzandoli nei punti minacciati, ed anche ricostruendoli dove le condizioni lo richiedevano. Nel resto, il progetto si limitò ad eseguire la sezione normale fra gli argini, dove la loro distanza era esuberante, ad alcuni nuovi drizzagni, tagli e nuovi argini, alla ricostruzione del ponte S. Michele e alla sistemazione e in vari punti ricostruzione o nuova costruzione di fossi di scolo pel prosciugamento dei terreni impaludati (fig. 4, 5 e 6 della tav. II, anno 1890).

Benchè l'influente Avisio non si trovi in questa tratta, pure, siccome i lavori di sistemazione e correzione eseguiti per esso sono stati di eguale giovamento alla II ed alla III sezione, così la spesa relativa venne considerata per metà nel progetto della sezione in questione e per l'altra metà nel progetto della III sezione.

I canali di prosciugamento costituiscono una caratteristica di questa tratta, e i più importanti sono sulla destra dell'Adige, specialmente quelli del lago Caldaro. Sulla sinistra sono pure importanti i fossi di Neumarkt, Reifner, Porzen (tratta sistemata e tratta nuova), Luterotti, Moos Laag, Feld Laag e la Fossa maestra nel tenimento di S. Michele fino al ponte della ferrovia.

La spesa pei soli canali di scolo in questa sezione è di lire 540 930.

La sezione normale pei drizzagni ha una larghezza di m. 54 al fondo e di m. 63 circa in bocca; quella per le massime piene una larghezza in bocca di m. 80 circa. I lavori non sono ancora completamente ultimati, ma già si può giudicare della forma del profilo longitudinale del letto, il quale presenta una regolarità assai soddisfacente.

La spesa prevista è di lire 5 918 367 delle quali 3 490 374,30 a carico dello Stato, 1 183 673,40 del Consorzio e il rimanente da pagarsi col ricavo della vendita dei terreni acquistati colla sistemazione, e il deficit dalla Dieta Tirolese e da quegli interessati che non sono nel Consorzio, in prima linea dalla Società della ferrovia meridionale.

6. — III SEZIONE. DAL PONTE DELLA FERROVIA PRESSO S. MICHELE ALLA FOCE DEL LENO PRESSO SACCO.

Prima ancora che si pubblicasse la legge del 23 aprile 1879 sulla sistemazione dell'Adige, si erano costruiti in questa sezione dal 1840 al 1860 una serie di drizzagni a valle di Trento e di argini già menzionati, la maggior parte dei quali non poteronsi per ragioni economiche escludere dal nuovo progetto. Fu quindi giuocoforza utilizzarli nel miglior modo possibile e procedere con criteri analoghi a quelli adottati nella seconda sezione. L'intero tratto fu diviso in 20 lotti (fig. 5, 6, 7 e 8 della tav. II, anno 1890); nei primi due, benchè si volesse, seguendo la tradizione, costruire tre drizzagni enormi, vennero i medesimi esclusi, e si progettarono delle difese longitudinali e delle trasverse; si costruirono a nuovo invece argini insommergibili; i difettosi vennero rinforzati o riparati, e rialzati quelli che ne avevano bisogno, con che si ottenne un andamento abbastanza regolare. In

questo tratto trovansi la foce del torrente Noce di cui già parlammo; a valle della medesima si costruì un drizzagno in curva, abbandonando il vecchio letto dell'Adige ai depositi del Noce. Sebbene ciò abbia reso necessario uno spostamento del punto d'influenza del torrente, il vantaggio ottenuto col creargli un bacino di deposito è stato così grande, che merita di essere menzionato.

Nel terzo lotto trovansi la foce dell'Avisio, il drizzagno di Ischia Wolkenstein e il rinforzamento della Rosta Tonnera.

Nel quarto lotto fino al drizzagno di Centa, si è sistemato completamente il fiume in tutta la lunghezza colle sezioni adottate, e cogli argini insommergibili, ad eccezione di una piccola tratta di 600 m. dove, per la natura rocciosa della sponda, se ne poté fare a meno.

Nel quinto lotto si dovettero allargare i drizzagni già esistenti di Centa e di Briamasco, e ricostruire il ponte di S. Lorenzo presso Trento sostituendo al vecchio in muratura di 4 luci di m. 15,4 una travata unica di ferro. Nel seguito il fiume presentava un corso passabilmente regolare, per cui il progetto si è limitato a prevedere la sistemazione della sezione e la ricostruzione degli argini longitudinali dove occorreva.

Fra Besenello e Calliano però, dove l'Adige formava una brusca risvolta, vi si è rimediato con un drizzagno di straordinaria lunghezza, nella cui savenella il fiume non voleva dapprima agire e allargare la sezione, ma in seguito, essendosi allontanate alcune stillate del ponte di Calliano, le acque penetrarono nei buchi rimasti e l'allargamento si fece anche maggiore del previsto.

Un altro drizzagno si dovette praticare presso Chiusole.

Finalmente occorre ancora menzionare l'estirpamento parziale della roccia nel letto presso Sacco, la cui presenza produce nel profilo del fiume un'azione analoga a quella di una diga o serra di fondo. Con ciò si accrescerà la pendenza a monte di Sacco e si otterrà lo sgombrò dei depositi nell'alveo. L'estirpamento è progettato da effettuarsi sott'acqua sopra una lunghezza di 350 m. e una larghezza di m. 36, per una profondità variabile da m. 1,50 a m. 1,75 ossia per un cubo di 11 420 m. La spesa prevista è di lire 148 200.

Anche in questa sezione si devono eseguire parecchi canali di scolo e di prosciugamento e cioè sulla sinistra del fiume circa sei maggiori e sulla destra quattro.

Per la determinazione delle sezioni normali si stabilirono dapprima le pendenze in singole tratte, indi si calcolarono le portate massime sui dati delle piene del 1882, ammettendo come punto di partenza per la portata all'origine, ossia nella seconda sezione, 1400 m³.

Nella prima tratta, fino alla confluenza del Noce, si determinò in m³ 100 la portata complessiva dei canali di scolo di Caldaro, della Fossa maestra di S. Michele e dei torrenti Sorni e Nave; in m³ 450 quella del Noce e similmente quella dell'Avisio, cosicchè la portata dell'Adige risulta nella prima tratta di 1500 m³ per minuto secondo, in seguito di 1950 e dall'Avisio in sotto di 2400 m.

Pel torrente Fersina si stabilì la portata di massima piena in m. 50, e in m. 60 quella del Roszbach e di conseguenza la portata dell'Adige 2450 e rispettivamente 2510 m³ per m².

In base a questi dati, e colla formola di Ganguillet e Kutter, vennero calcolate le sezioni normali nelle quali la larghezza dello specchio per la portata media ordinaria venne fissata in m. 58; 65; 70; e fino a 72. Dalla fig. 4, tav. II, si rilevano le disposizioni principali. La muratura che si eleva a guisa di muro sul rivestimento delle scarpate ha lo scopo di sopperire ai vuoti che per effetto di corrosione potessero prodursi nella parte inferiore. Nei drizzagni e tagli si costruiva dapprima questo rivestimento e gli argini laterali, poi una savenella verso la metà della sezione, della larghezza di 13 metri allo specchio delle magre e col fondo a m. 0,6 al disotto del medesimo. L'introduzione del fiume nel drizzagno si faceva nel noto modo, cioè gradatamente, rialzando sempre più la diga di chiusura del vecchio alveo.

Non aggiungiamo altro sulla materiale esecuzione dei lavori poichè essa è già stata ben descritta nella pregevole memoria dell'Ing. Turazza di cui già si è parlato (Anno XVI, 1890, pag. 35 e 36).

Circa al profilo longitudinale, lo scopo precipuo della sistemazione è quello di distruggere i dossi creati dai materiali degli influenti.

La spesa prevista dalla legge dell'11 settembre 1886 in seguito a revisione del progetto per questa III sezione era di lire 11 711 258, delle quali alla fine del 1886 erano già state spese lire 4 447 538,80.

In seguito ad una ulteriore revisione eseguitasi dall'Ispettore Weber von Ebenhof si ritennero necessarie altre opere per la sistemazione completa, cosicchè l'importo totale venne stabilito in lire 12 866 286,80, per la terza sezione. Non potendosi pel momento approvare nuovi crediti, causa le condizioni finanziarie dell'Impero, si limitarono le opere fino a complemento della somma ancora disponibile, dopo quella già spesa di cui sopra, e cioè fino a lire 7 263 719,20, riservandosi di provvedere al resto in appresso.

La ripartizione della somma suddetta, lire 11 711 258, viene fatta in modo che allo Stato competono lire 4 522 000; alla Dieta Tirolese 988 000 lire; il Consorzio e la Società della ferrovia del Sud sopportano il rimanente della spesa.

CAPITOLO III.

Correzione degli influenti.

I. — IL FERSINA.

Questa parte è stata largamente trattata dall'ing. Turazza nella sua Memoria già citata, perciò ci limiteremo ad esporre notizie complementari a quanto ivi è descritto.

I torrenti dei quali intendiamo brevemente discorrere sono l'Avisio, il Fersina, il Gola e il Leno nell'ordine in cui si seguono andando da monte a valle; noi cominceremo però dal Fersina, poichè è quello che offre il massimo interesse e perchè in esso si sono eseguiti i maggiori lavori di correzione. Il suo bacino di 240 Km² è assai più piccolo di quello dell'Avisio, e inferiore anche al bacino del Leno, ma ciò non ostante è uno dei più terribili e pericolosi torrenti del Trentino e di un'importanza capitale per Trento: la esistenza di una parte della città dipende interamente dalla buona sistemazione del medesimo. Ha origine dal lago Spitz (2880 m.) e la sua pendenza media è del 7 per cento circa sopra una

lunghezza di 30 Km. La valle percorsa dal torrente è una stretta vallata alpina, che si apre a un tratto nella bellissima e ubertosa pianura di Pergine, uno dei punti più pittoreschi del Trentino. Le acque di questa pianura sciolano in parte verso il lago di Caldonazzo che, dopo il lago di Achen, è il maggiore del Tirolo, e in parte nel Fersina.

Dopo la pianura di Pergine, la vallata si stringe nuovamente presso Civezzano in una gola strettissima, dentro la quale spumeggia il Fersina e corre passando sotto Cognolo, poi vicinissimo a Trento, riversandosi nell'Adige poco più a valle. Le sue piene hanno una portata fino a 440 m³ per minuto secondo, ma la minaccia più grave per Trento non sono le acque, bensì i materiali convogliati dal torrente in quantità veramente enorme. Ciò si spiega quando si abbia riguardo alla natura geologica dei terreni da esso attraversati. Infatti nella parte alta e più estesa del suo bacino, scorre fra porfidi in disfacimento e continua degradazione, ridotti in mille frantumi; da S. Felice fino a Pergine si hanno degli schisti argillosi, che sotto l'azione delle intemperie, e in particolare dell'azione dissolvvente delle acque, si riducono in piccoli pezzi i quali vanno ad aumentare l'enorme quantità dei materiali trasportati dal torrente; sotto Roncagno incontra l'arenaria, i calcari liasici e le dolomiti che si frantumano in piccoli dadi e prismi, e finalmente dalla stretta di Civezzano in sotto la scaglia della formazione cretacea.

L'idea di trattenere questi materiali, liberando così il torrente, dovette presentarsi spontanea al solo esame della gola di Civezzano; e infatti gli idraulici, già fino da tre secoli fa incominciarono a costruire in questa tratta delle briglie o serre le quali, sbarrando la vallata, obbligavano il torrente a depositare i materiali. E gli è così che poco a poco ebbero origine le quattro serre veramente gigantesche che costituiscono la vera salvezza della città di Trento. Nel profilo longitudinale della figura 3 (tav. III) sono indicate le loro posizioni e cioè prima la serra di Cantanghel sotto Civezzano, poi quella antichissima di Pontalto, e a presidio della medesima, nell'immediata vicinanza, quella di Madruzzo; finalmente l'ultima, detta di Cornicchio, alta solamente 10 metri, situata all'uscita della gola, e che serve pur di garanzia alle spalle del ponte che in questo punto (fig. 14) scavalca il Fersina.



Fig. 14. — La traversa di Cornicchio sul Fersina.

2. — SERRA DI PONTALTO.

È vezzo quasi generale attribuire ai disboscamenti avvenuti nel nostro secolo ed anche nel precedente, l'enorme quantità di materiali che i torrenti convogliano; ma pel Fersina (ed anche per altri influenti dell'Adige), l'Ispettore Weber ha potuto stabilire, che fino dai tempi più remoti, in epoca cioè nella quale i disboscamenti non si facevano ancora, le materie trascinate erano pure in quantità straordinaria e producevano danni gravissimi. Egli è appunto per eliminare questi danni che fino dal 1537 le Autorità di Trento stimarono necessario di costruire una serra nella località di Pontalto, all'intento di mettere un riparo al torrente Fersina, che coi suoi straripamenti minacciava di distruzione la città, e i terreni circostanti. Questa serra (fig. 7 a 10, tav. III), nella sua forma attuale, ossia dopo le sopraelevazioni successivamente subite, è, senza dubbio, la più elevata del mondo; non parliamo, ben inteso, delle traverse per laghi artificiali, ma di quelle sole che hanno lo scopo di trattenere i materiali trasportati dai torrenti. Essa ha un'altezza tale che le acque precipitando fanno un salto di metri 46,90.

Fu progettata da Francesco Recamatori di Verona ed eseguita per la massima parte in legname da Giovanni Cestar; non ebbe però lunga durata giacchè il torrente, in occasione di una piena, la ruppe e straripando nella sua corsa selvaggia arrivò fino presso il duomo di Trento. Venne subito ricostruita in pietra e in muratura, ma con risultato non diverso, poichè nel 1564 veniva di nuovo distrutta. Per molto tempo non si procedette alla sua ricostruzione, in causa delle opinioni diverse sulla maggiore o minore efficacia della medesima. Qui merita di essere menzionata la relazione peritale del cav. Giuseppe Roveretti, in data 24 luglio 1601, poichè già fin d'allora egli aveva riconosciuto e accennato alla necessità di costruire non una, ma due serre, delle quali, quasi fortezze, l'una servisse a presidio dell'altra. In questa proposta riscontriamo l'idea della controbriaglia, la cui necessità oggidi non è più messa in dubbio da alcuno; e nel caso concreto la proposta del Roveretti è degna di menzione, poichè essa trovò la sua attuazione quasi 300 anni dopo, quando appunto si costruì la serra di Madruzzo, di cui diremo in appresso.

Finalmente, negli anni 1611, 1612 e 1613 la serra di Pontalto fu ricostruita, ma tutta di pietra e con un'altezza di m. 19,30 dal tagliapietre Giulio Smidel e dai fratelli Gardesani. Nel 1686 fu però danneggiata considerevolmente da una piena del torrente; riparata di nuovo con muratura e legname, anche questa resistette per un buon numero d'anni e cioè fino al 1747, nella quale epoca rovinò, e fu causa di danni indescrivibili in tutti i terreni adiacenti e nella città di Trento. La ricostruzione, tutta di muratura, fu affidata a Bartolomeo Ferracini di Solagna nel 1749, il quale vi mise mano deviando il torrente per mezzo di una diga ed obbligandolo a passare in apposito canale al disopra del cantiere. Non condusse però i lavori con quella alacrità e diligenza che occorreva, sicchè una piena del Fersina li danneggiò considerevolmente. Allora fu incaricato del lavoro Francesco Giovannelli di Gerspurch, che terminò la serra nel 1752 portandola ad un'altezza totale di m. 22,58.

Questa fu l'opera migliore e più solida, dopo della quale e fino ad oggi, non occorre ricostruzione di sorta, ma si resero semplicemente necessarie delle piccole riparazioni e delle sopraelevazioni, in seguito a piene più o meno considerevoli del torrente. Così nel principio del 1824 venne elevata di altri m. 3,98 e di m. 4,11 nell'inverno dal 1824-1825. Più tardi (1847), si allontanò la copertura che era di legname, e vi si sostituì un sopralzamento di m. 1,89. Negli anni 1849 e 1850 in causa dei lavori di sistemazione dell'Adige e coi fondi di questi, venne rialzata di altri m. 6,32. Da una verifica fattasi nel 1857 pare che la sopraelevazione sia stata alquanto maggiore. Finalmente nel 1882 gli ingegneri A. Apollonio e Dr. A. Obrelli intrapresero una verifica minuziosa, accurata e fondamentale di tutta l'opera (1); il risultato della medesima fu assai favorevole al manufatto. E in vero essi trovarono che

la serra è fondata sopra una roccia durissima e incastrata lateralmente pure in una roccia della migliore qualità. La stabilità della serra è completa tanto per rispetto ai materiali che deve trattenere, quanto pel peso proprio che deve sopportare. E' costruita con tutte le regole dell'arte e colla massima cura ed offre una garanzia sicura contro una rottura, per molti e molti anni ancora.

Dopo questa visita, nel 1883 e nel 1887 si trovò necessario di sopraelevarla nuovamente di m. 1,70 e rispettivamente di m. 2,20. Essa ha così raggiunto l'altezza totale di m. 37,90, come si scorge dalla figura 7 (tav. III). La gola nella quale la briglia è costruita ha le larghezze seguenti: m. 3,40 sotto la caduta: m. 7 verso metà altezza e metri 10 in corrispondenza del ciglio; queste larghezze sono pure quelle della serra tranne alla base, dove ha m. 4,50.

Subito a monte di questo punto la gola si allarga in un bacino esteso (fig. 2, tav. III), il che indusse i primi costruttori a scegliere questa ubicazione pel manufatto, potendosi in tal modo trattenere delle masse enormi di materiale. A valle invece la gola si restringe (fig. 15) e continua così fino a Cor-

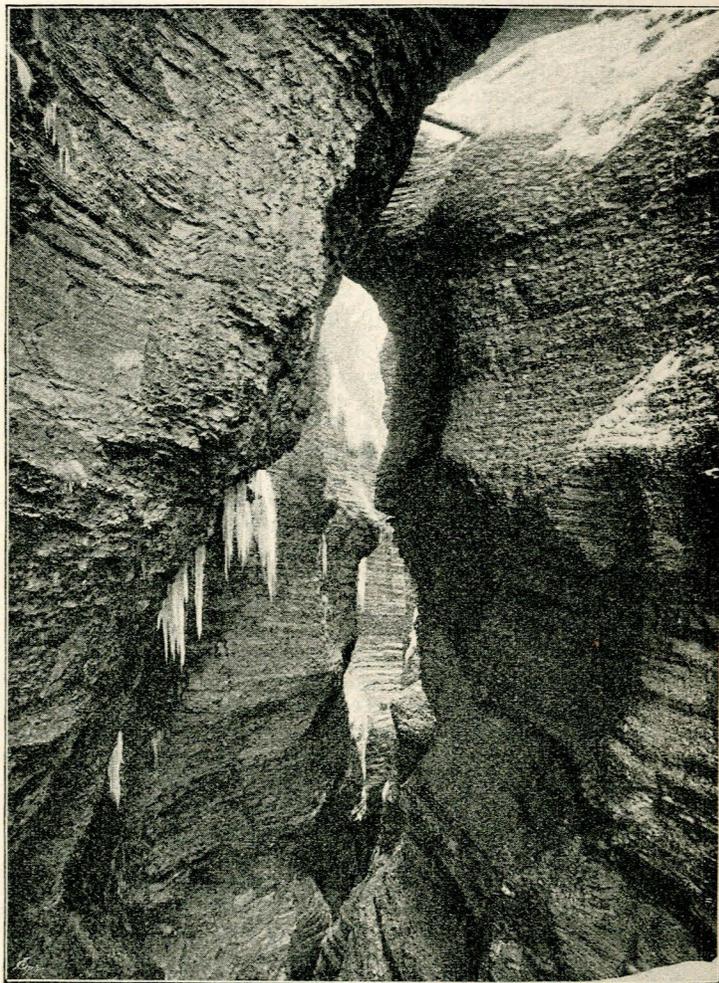


Fig. 15. — La gola di Fersina presso Trento.

nicchio, dove si trova l'altra briglia di cui parleremo in appresso. Le fig. 9, e 10 (tav. III) indicano la pianta e una sezione orizzontale del manufatto; esso è costruito a segmento di arco, nel quale il raggio della curva interna è di m. 41 al ciglio e di m. 13,20 alla base. La sua faccia d'avallo non ha scarpata di sorta, anzi l'estremità superiore nella parte centrale sporge di m. 0,50, cosicchè la serra sembra aggettare verso l'abisso. Questo aggetto non è stato causato dalla pressione dei materiali trattenuti, ma eseguito o a disegno o per errore. La muratura è a strati di 50 a 100 centimetri di altezza;

(1) A. APOLLONIO e Dr. A. OBRELLI, *La serra di Pont'Alto rilevata ed ispezionata li 11 marzo 1882*. Trento, 1882.

i conci sono accuratamente tagliati e quelli antichi più alti che larghi, gli altri viceversa. La grossezza varia da m. 1,99 alla base, e 3,98 a 4,98 come si scorge dalla figura 8 (tav. III).

Ogni concio ha una rientranza di m. 1,40 per lo meno; anzi sembra che la grossezza sia costituita generalmente da tre conci. Il volume delle singole pietre varia fra m³ 0,33 e m³ 1,30. Verso la metà circa vi è un arco di scarico, che si scorge anche dal prospetto (fig. 7, tav. III) e sull'altezza totale trovansi ripartiti quattro tombini.

In presenza di una cascata così gigantesca, dove non solo l'acqua, ma massi di parecchi quintali e quantità enormi di materiali precipitano da un'altezza di oltre 45 metri, è naturale il pensare alle conseguenze che essi possono produrre sulla platea. Dalle osservazioni ed esperienze eseguite dagli ingegneri Apollonio e Obrelli è risultato che la roccia di fondazione e della platea è così dura, che di solo m. 0,50 per secolo può corrodersi; i massi poi che vengono travolti dalle acque descrivono una curva, che va allontanandosi dalla verticale passante pel ciglio, col crescere della profondità, il che insegna anche la teoria della caduta libera dei corpi; la distanza del punto dove i materiali battono sulla platea dalla menzionata verticale è di circa 3 metri; cosicchè se la briglia avesse avuto una scarpa, come si assegna d'ordinario alle traverse per ritenute d'acqua, od anche di un solo sesto dell'altezza, la differenza della base per rispetto al ciglio sarebbe di m. 6,67 e quindi tutti i massi sarebbero precipitati sul paramento e l'avrebbero danneggiato. Ciò dimostra quanto sia corretta la forma verticale assegnata alla briglia.

2. — SERRA MADRUZZA.

Per quanto sicura sia la Serra di Pontalto, non è men vero che se dovesse, per una ragione qualsiasi rompersi, le conseguenze sarebbero assai più gravi che non lo furono per lo passato; poichè la distruzione pressochè completa di Trento sarebbe inevitabile. Infatti, la sua caduta provocherebbe certo quella di Cantanghel, della quale discorreremo più sotto, poichè questa si trova fondata sulle alluvioni trattenute dalla briglia di Pontalto (fig. 3, tav. III). I materiali depositati dietro di essa potrebbero pur riempire interamente l'alveo del torrente Fersina, e resterebbero così ancora disponibili quelli trattenute dalla briglia di Pontalto, per seppellire la città di Trento. In presenza di un pericolo così grave, doveva sorgere naturale l'idea di costruire una controbriglia a valle di quella esistente, con un'altezza tale da scaricarne in gran parte la briglia principale. Siccome nessuno avrebbe potuto prevedere il momento nel quale una catastrofe di questo genere potrebbe verificarsi, e col ritardare la proposta costruzione non si sarebbe avuto che l'economia dell'interesse della somma necessaria, prolungando il pericolo da cui si era minacciati, si trovò opportuno di mettere mano al più presto a tale costruzione, la quale, una volta eseguita, avrebbe invece allontanata per sempre la probabile catastrofe. Il progetto fu redatto nel marzo 1884 dal dottor Carlo De Pretis, ingegnere municipale e della Delegazione fersinale di Trento, e la costruzione ebbe luogo sotto la sua direzione negli anni 1885 e 1886, superando enormi difficoltà tecniche e materiali.

La briglia si trova a 80 metri circa a valle di quella di Pontalto (fig. 2 e 4, tav. III) e per stabilirne la posizione fu giuocoforza ricorrere ad impalcature e scale speciali, onde introdursi nella gola e visitarla; il punto scelto è non solo il più stretto, ma anche il più opportuno per la natura della roccia del fondo e dei lati, i quali, sebbene nelle parti superiori presentino qualche degradazione dovuta agli agenti atmosferici, pure sono costituiti di roccia così salda, che la serra potè impostarsi nel modo il più sicuro. Siccome poi la gola (fig. 11, tav. III) anche superiormente al ciglio della briglia si mantiene stretta, si ha così la possibilità di sopraelevarla in avvenire, quando si presentasse il bisogno, come si è fatto a più riprese per quella di Pontalto.

Le figure 11 e 12 (tav. III) rappresentano in prospetto e in sezione il manufatto e le figure dalla 13 alla 15 ne indicano la pianta e le sezioni orizzontali a vari piani. Dalle medesime si rileva che l'altezza della briglia sul fondo dell'alveo è di 41 metri; che il suo ciglio trovasi all'altitudine di m. 306,10 ossia a m. 12,50 solamente più basso di quello di Pontalto; in

questo modo si è presidiata tutta la parte inferiore della medesima, quella cioè sulla cui stabilità non si poteva avere altrettanta certezza quanto per la parte superiore per la quale le visite eseguite permisero di constatare tutta la sicurezza voluta.

La briglia Madruzzo è fatta in muratura di grossa pietra da taglio, e siccome la sua forma icnografica è quella di un arco, i singoli conci sono tagliati a cuneo e le imposte tagliate pure secondo la direzione del raggio di curvatura che vi corrisponde. In causa della minima larghezza della serra è evidente che agisce perfettamente come una volta, che deve resistere ad una pressione uniformemente distribuita e diretta nel verso del raggio. Questa pressione in ogni strato orizzontale, è uguale alla relativa pressione idrostatica corrispondente all'altezza di muratura che le sta sopra. La pressione laterale che ne deriva viene trasmessa normalmente da un concio al successivo fino alle imposte, per loro natura invariabili. Queste pressioni sono massime: la prima in corrispondenza del piano di fondazione dove il raggio è minimo e la pressione idrostatica è massima; la seconda alla profondità di m. 14,10, che è la maggiore, dove il raggio di curvatura è massimo. Il materiale, in questi due punti, viene cementato da 6,483 chilogrammi, rispettivamente 5,73 per centimetro quadrato. Se si fa astrazione di una ripartizione uniforme su tutta la grossezza del muro, e si considera la curva delle pressioni invece che nel mezzo, nel terzo medio dell'arco, ne risulta una cementazione di chilogrammi 12,97 per cmq. nel materiale dell'ultimo strato e di 11,46 in quello alla profondità di metri 14,10. Questa pressione è appena 1/23 del carico di rottura pel calcare trentino (300 kg. per cmq.).

La pressione maggiore, dovuta al proprio peso, si ha evidentemente sulla fondazione dove, contando anche una sopraelevazione dell'acqua di m. 5 sul ciglio della briglia, nelle epoche di piena, risulta di kg. 8,632 per cmq., ossia poco più della 35^a parte del carico di rottura.

Da ciò rilevasi non solo la perfetta solidità del manufatto, ma altresì la possibilità di una sopraelevazione, senza che per questo le condizioni di stabilità escano dai limiti di una prudente sicurezza.

Per garantire le pareti laterali della gola, contro le quali si appoggia la muratura, si cercò di allontanare i materiali trasportati dal torrente, nella loro caduta, e di evitare altresì il contatto e l'urto dell'acqua. A tale scopo si lanciò una volta sulla gola, in continuazione del ciglio, e per una lunghezza di m. 6, come si scorge dalla sezione della fig. 12 (tav. III); la cascata dell'acqua venne così allontanata di 6 metri dalla briglia, lasciando questa immune dall'urto dei materiali e da quello dell'acqua.

Siccome la gola discende obliquamente, tanto che al fondo si trova di 3 metri circa più verso sinistra della mediana (fig. 11, tav. III), le acque, precipitando dalla volta, vanno a battere contro la parete di destra, e non attaccano menomamente la briglia e le sue imposte, le quali vengono così protette anche contro le degradazioni del gelo e disgelo.

La volta è fatta con due strati di pietre, in modo che si può cambiare lo strato superiore indipendentemente dall'inferiore, e quindi senza necessità di armature speciali. L'altezza dei corsi di pietre della briglia, varia da m. 0,50 a m. 0,90. La fig. 12 (tav. III) indica una media di 0,70. Si è pure costruita una scala a chiocciola sulla destra per discendere sotto la volta, da dove poi si può calare, mediante scale di ferro al fondo della gola e ispezionare a piacere la briglia.

È naturale che la costruzione di questo manufatto in una gola così stretta, dove il materiale doveva esser calato in grossi massi di circa 2 mc. dalla strada che passa superiormente all'altezza di m. 70 dal fondo della gola, dovette offrire difficoltà non comuni, e richiedere armature e ponti di servizio speciali e complicati. Noi non possiamo trattenerci maggiormente su questo argomento e rimandiamo il lettore all'opera di Weber.

Non meno importante è il modo col quale il torrente è stato deviato durante la costruzione. Si scelse l'epoca delle massime magre, che è l'invernale, e che comincia colla metà di novembre; e nella quale la portata del torrente discende fino a un metro per minuto secondo, e si costruì un canale, intagliandolo nella parete destra della gola fig. 13 (tav. III); gli

si è assegnato la larghezza di m. 0,70 e l'altezza di un metro, con una pendenza di m. 2,50 per cento; esso poteva così smaltire fino a mc. 2 per minuto secondo.

In seguito, quando l'altezza della briglia aveva raggiunto il quinto strato, si sopresse il canale, e le acque furono smaltite da un tombino lasciato nel secondo strato. In tal modo si riuscì ad eseguire tutta la muratura all'asciutto senza inconvenienti di sorta.

L'importo totale dell'opera è stato di lire 153 667,07.

3. — BRIGLIA DI CANTANGHEL.

La quarta ed ultima briglia nel torrente Fersina è quella di Cantanghel, sotto Civezzano, dove già anticamente dal Comando militare si era costruita una serra per proteggere la strada nazionale che da Trento mena in Valsugana.

Lo scopo di questa nuova briglia è quello di arrestare una gran parte dei materiali del torrente e di impedire che vadino ad accrescere quelli trattenuti dalle serre inferiori e ad ingombrare l'alveo sottostante. In secondo luogo si volle eliminare l'erosione che minacciava di scalfare le fondazioni dei numerosi muri di sostegno della strada nazionale.

La località non poteva scegliersi migliore, come mostra la planimetria (fig. 1, tav. III), poichè la vallata si restringe nel sito detto « al Cantanghel » in una vera gola, poi immediatamente a monte si allarga considerevolmente e va a perdersi nella pianura di Pergine, creando così un bacino di deposito immenso.

Una briglia era stata già costruita al principio della seconda metà del secolo, ma in muratura a secco e con materiali non tanto voluminosi; aggiungasi che le sue fondazioni non erano state spinte fino alla roccia. La sua altezza era di 17 metri. Nel 1882, in occasione di una piena del torrente, si ruppe nel mezzo verso la base, e tutto il materiale depositatosi da alcuni decenni, passò attraverso l'apertura e sulla briglia di Pontalto andando ad ingombrare tutto l'alveo del Fersina a monte di Trento, e minacciando la città. Di fronte a questo pericolo imminente ed a quello ancora maggiore che nell'occasione di altra piena avrebbe potuto verificarsi, poichè, essendo l'alveo così ingombro di materiali, le nuove torbide si sarebbero riversate interamente sopra Trento, venne decisa la ricostruzione della detta serra ma in muratura di pietrame con malta. Il progetto fu redatto dall'ingegnere Giuseppe Untergasser, e la costruzione, incominciata il 30 gennaio 1883, fu terminata completamente verso la metà del maggio 1884.

Le figure 5 e 6 (tav. III) e da 7 a 10 (tav. III anno 1890) rappresentano la briglia nei suoi particolari. Essa consta di una serra della forma di un arco orizzontale, di una controbriglia o serra di presidio alla base, e di un canale di scarico intagliato lateralmente nella roccia.

La serra ha la forma icnografica di un arco colla convessità verso monte e il raggio di 40 m. Discende colla fondazione fino a 7 m. (fig. 6) sotto il livello delle massime magre, e si eleva all'altezza di m. 17 sopra il medesimo. La parete verso monte è verticale; inclinata quella a valle.

Il canale di scarico ha una larghezza di 10 m., e nel punto dove il suo letto è più basso, trovasi a m. 1,50 al disotto del ciglio della briglia; la sua pendenza è del 2 per cento fino alla spalla sinistra, indi del 5 per cento.

La controbriglia è lunga 11 m. e larga 17 m., ed ha pure la forma arcuata. È munita di platea a livello della magra. La sua grossezza è di m. 3,50 sopra una lunghezza di 8 m., compreso il basolato che ha uno spessore di un metro. All'estremità è munita di un muro di guardia che discende fino a 6 m. ed ha una larghezza di 3 m. Tutta la muratura è stata eseguita con malta di calce idraulica.

Anche qui il torrente si dovette deviare prima d'incominciare i lavori, il che si fece mediante un canale di legno sopraelevato; si ottenne così una caduta la quale fu utilizzata per muovere una ruota idraulica di legno e con essa parecchie trombe centrifughe, destinate agli aggotamenti.

La spesa totale dell'opera è stata di lire 162 593,30.

La briglia, come già accennammo, non si trova fondata direttamente sulla roccia, ma nel terreno alluvionale, egli è per ciò che si costruì la platea la quale, se venisse aspor-

tata, lascierebbe indifesa la serra; ma a ciò si è ovviato con opportune gettate di difesa; potrebbe esservi serio pericolo solo nel caso che rovinasse la briglia di Pontalto, poichè allora il torrente a valle della serra di Cantanghel scaverebbe e metterebbe a nudo la fondazione; ma questo pericolo ormai, dopo la costruzione della serra Madruzzo, non esiste più, perciò si può ritenere il torrente completamente sistemato.

(Continua).

MECCANICA APPLICATA

SULLA FORZA CENTRIFUGA DELLE BIELLE NEI MANOVELLISMI DI SPINTA ROTATIVA.

Ci proponiamo di risolvere il seguente problema: Dato un manovellismo di spinta rotativa in moto, determinare la forza centrifuga che si sviluppa nella biella in qualsiasi istante del moto.

Comunemente, d'un tal problema non si danno che soluzioni approssimate, sia per ovviare a complicazioni analitiche, sia per giungere ad espressioni di qualche uso pratico. Alcuni autori, per risolvere rapidamente la questione, in luogo di considerare le vere traiettorie dei punti della biella che sono curve del 4° ordine, suppongono che tali curve si riducano a dei cerchi analoghi a quello descritto dal bottone della manovella. Ma tale ipotesi, se può valere con sufficiente approssimazione per un breve tratto di biella in vicinanza al bottone, non può ugualmente essere accettata per tutti gli altri punti; essa altera notevolmente i raggi di curvatura e le direzioni delle tangenti, da cui essenzialmente dipende la forza centrifuga, e di più ha l'inconveniente di non lasciar intravedere il grado di approssimazione nel risultato finale. Noi seguiremo altra via e adotteremo il metodo geometrico. Esso ci servirà molto bene a dare un'esatta nozione del problema e a giudicare anche dell'accettabilità delle formole pratiche in uso.

I. — Esaminiamo una data posizione della biella e determiniamo la velocità di vari suoi punti per questa posizione.

Insegna la geometria cinematica che, nello spostamento di una figura piana nel suo piano, qualunque moto infinitesimo della figura si riduce ad una semplice rotazione intorno ad un punto (polo istantaneo di rotazione) nel quale concorrono tutte le normali elevate dai vari elementi della figura alle traiettorie da questi descritte. Ne consegue che, note le curve descritte da due punti rigidamente connessi alla figura, il polo istantaneo di rotazione è univocamente determinato. Tale è il caso della biella nei manovellismi di spinta. Il movimento di AB (fig. 16), infinitamente prossimo alla posizione

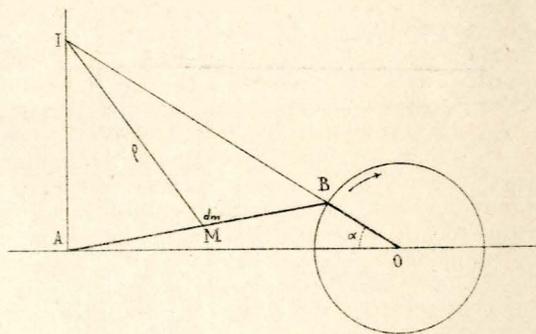


Fig. 16.

indicata, è perfettamente individuato dalle traiettorie di A e di B. Il punto I d'incontro delle normali a queste traiettorie è il polo istantaneo di rotazione. Diciamo $d\theta$ l'angolo infinitesimo di cui la biella AB ruota intorno ad I; sia l la

lunghezza AB; a la lunghezza della manovella BO inclinata dell'angolo α rispetto alla direzione AO del movimento rettilineo. Per il punto B si avrà:

$$a d\alpha = BI d\theta \quad \text{da cui} \quad d\theta = \frac{a}{BI} d\alpha.$$

Se dm è la massa di un elemento qualunque della biella situato alla distanza ρ dal centro istantaneo I e percorrente l'archetto di traiettoria ds normale a ρ , si dovrà avere:

$$ds = \rho d\theta = \rho \frac{a}{BI} d\alpha,$$

e la velocità dell'elemento sarà:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{\rho a}{BI} \frac{d\alpha}{dt};$$

ma $\frac{d\alpha}{dt}$ non è altro che la velocità angolare ω di B che noi riteniamo costante; potremo quindi scrivere indicando con v la velocità dell'elemento:

$$v = \frac{\rho a}{BI} \omega. \tag{1}$$

Ora, detta dF la forza centrifuga elementare di dm ed R il raggio di curvatura della traiettoria descritta dall'elemento stesso, sarà:

$$dF = \frac{v^2}{R} dm, \tag{2}$$

e sostituendo il valore della (1):

$$dF = \frac{a^2 \omega^2}{BI^2} \frac{\rho^2}{R} dm, \tag{3}$$

la qual formola dà l'espressione della forza centrifuga dell'elemento dm all'istante considerato. La direzione di tal forza è data dalla retta ρ .

Vediamo di trasformare l'espressione (3) ricordando brevemente alcune proprietà del movimento di una figura piana nel suo piano. Sappiamo che quando una figura piana si sposta in modo continuo nel suo piano, il suo moto può essere considerato come prodotto dal rotolamento (serie di rotazioni infinitesime) di una certa traiettoria mobile connessa al sistema sopra un'altra traiettoria fissa. Se ora noi immaginiamo la figura rappresentata dalla retta MN (fig. 17) in un istante qualunque del suo movimento individuato dal centro istantaneo di rotazione I e dalle traiettorie accennate xx , yy (traiettorie polari), l'una mobile e l'altra fissa, nello spostamento elementare successivo esistono infiniti punti del piano, supposti rigidamente connessi ad MN, i quali descrivono elementi d'inflexione di traiettoria. Tutti questi punti sono situati sopra un cerchio tangente alle traiettorie di ro-

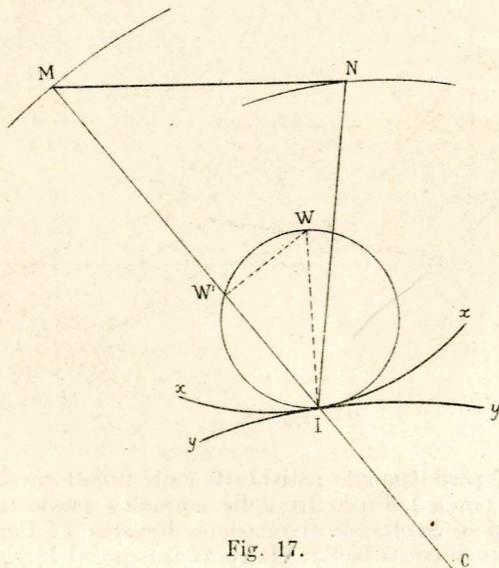


Fig. 17.

tolamento nel centro istantaneo. Questo cerchio dicesi *cerchio d'inflexione*, ed il suo punto W diametralmente opposto al centro istantaneo I prende il nome di *polo d'inflexione* (1).

Consideriamo il punto M della figura mobile, e sulla retta MI normale alla traiettoria descritta da M troviamo il centro C di curvatura della stessa; di più proiettiamo sulla MI normalmente il polo d'inflexione in W'. Tra i segmenti limitati dai punti M, W', I, C esiste la relazione che s'incontra nei gruppi armonici:

$$\overline{MW'} \cdot \overline{MC} = \overline{MI}^2 \tag{4}$$

la quale rappresenta il teorema di Gilbert (2).

Applichiamo queste proprietà al movimento della biella. Sia ancora il meccanismo di spinta in una data posizione (fig. 18); I il centro istantaneo ed M un punto qualunque della biella di massa dm . Se R è ancora il raggio di curvatura della traiettoria descritta da M, applicando il teorema di Gilbert, risulta:

$$MW' \cdot R = \rho^2 \quad \text{da cui} \quad MW' = \frac{\rho^2}{R}. \tag{5}$$

Sostituendo questo valore nella (3) e ponendo la quantità costante:

$$\frac{a^2 \omega^2}{BI^2} = A,$$

si ha:

$$dF = A \cdot \overline{MW'} \cdot dm, \tag{6}$$

che è ancora l'espressione della forza centrifuga elementare.

Questa equazione si presta ad una rappresentazione geometrica assai semplice. Infatti il punto W' è situato sulla retta MI, ed essendo anche la proiezione normale su questa

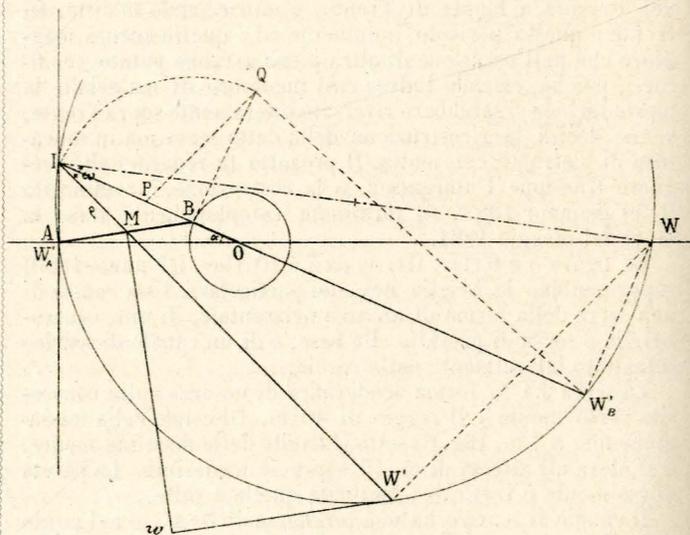


Fig. 18.

retta del polo d'inflexione W, esso per tale ragione è situato anche sul cerchio d'inflexione. Il problema è quindi ridotto alla ricerca del polo e del cerchio d'inflexione per la data posizione della biella.

2. — Applichiamo il teorema di Gilbert alle traiettorie descritte dai punti A e B. Poiché queste sono perfettamente note, nella formola:

$$\overline{MW'} \cdot \overline{MC} = \overline{MI}^2$$

non rimane d'incognita che la sola MW' che noi possiamo

(1) E. CAVALLI, *Cinematica teorica*, 1882.
 (2) E. CAVALLI, *Cinematica teorica*, 1882. — E. I. HABICH, *Études cinémat ques*, 1879.

quindi determinare. Note in tal modo due proiezioni del polo d'inflexione W , questo resterà univocamente determinato. Per il punto B la formola precedente diventa:

$$B W'_B \cdot \overline{OB} = \overline{BI}^2,$$

e si potrà costruire $B W'_B$ o con una media geometrica o con un gruppo armonico. Per A abbiamo il centro di curvatura all'infinito; allora $\overline{AW}_A = 0$, ossia W'_A coincide col punto A . Ottenute così sulle normali alle traiettorie, cioè sulle IA e IB le due proiezioni $W'_A W'_B$ del polo d'inflexione, eleviamo da queste proiezioni le perpendicolari alle IA, IB ; otterremo nel punto d'incontro di queste perpendicolari il polo d'inflexione W cercato. La retta IW sarà poi il diametro del cerchio d'inflexione che passerà per i punti $I W_A W'_B$ e che sarà perciò anch'esso completamente individuato.

Costruito il cerchio d'inflexione, la rappresentazione grafica della forza centrifuga consegue direttamente. Basta ricordare infatti la formola fondamentale (6) ed osservare che per un punto M qualsiasi della biella (fig. 18) la forza centrifuga è proporzionale alla massa dell'elemento in M ed al segmento MW che sulla figura si traccia immediatamente. E poiché la massa elementare dm , come vedremo in seguito, noi la supponiamo proporzionale all'elemento dx di biella (misurato lungo l'asse della stessa), possiamo concludere: che i segmenti di corda compresi tra la biella AB ed il cerchio d'inflexione e concorrenti in I costituiscono in realtà il diagramma delle forze centrifughe elementari nei vari punti della biella, rappresentando tali segmenti in direzione e grandezza le forze medesime.

Da questo primo tracciato possiamo dedurre alcune conseguenze degne di nota:

1° Che, per una data posizione della biella, la forza centrifuga dei suoi vari elementi varia in modo continuo dalla testa a croce dove è nulla al bottone della manovella, dove in generale non è massima. La legge della variazione è ben diversa dalla lineare che comunemente si suppone;

2° Che le forze centrifughe elementari concorrenti nel centro istantaneo sono variamente inclinate sull'asse della biella ed ammettono quindi ciascuna una componente Mw normale a quest'asse ed una wW' parallela al medesimo, cosa che accadrà in generale anche per la risultante di tutte queste forze. La forza centrifuga produce perciò nelle bielle una doppia sollecitazione: una normale e l'altra lungo l'asse delle medesime;

3° Che il diagramma delle forze elementari è completamente definito quando per una data posizione del manovellismo si conosca soltanto il diametro del cerchio d'inflexione.

Di fatti allora sarà possibile costruire il triangolo $I AW$ (fig. 18).

3. — Le conclusioni precedenti mostrano chiaramente come l'elemento fondamentale della nostra ricerca sia il diametro del cerchio d'inflexione. Noi abbiamo già mostrato come esso possa ottenersi graficamente per qualunque posizione a mezzo del polo d'inflexione; ma il processo grafico riesce incomodo per valori di α prossimi alle quadrature; è quindi opportuno vedere come questo elemento è legato analiticamente ai dati del problema. Riferiamoci ancora alla fig. 18.

Dai triangoli rettangoli $IOA, W O W'_B$ abbiamo:

$$IO : OA = OW : OW'_B,$$

da cui:

$$OW = \frac{IO \cdot OW'_B}{OA} \quad (7)$$

Ma dal teorema di Gilbert:

$$\overline{BI}^2 = B W'_B \cdot OB = OB (OB + O W'_B),$$

e quindi:

$$O W'_B = \frac{\overline{BI}^2 - \overline{OB}^2}{OB}$$

Sostituiamo questo valore nella (7):

$$OW = \frac{IO}{OB \cdot OA} (\overline{BI}^2 - \overline{OB}^2) = \frac{\overline{IO}^2 (BI - OB)}{OB \cdot OA}$$

Da quest'ultima relazione e dal triangolo rettangolo $I AW$ si ha poi senz'altro il diametro D del cerchio d'inflexione:

$$D = \sqrt{\left(OA + \frac{(BI - OB) \overline{IO}^2}{OB \cdot OA} \right)^2 + \overline{IA}^2} \quad (8)$$

espressione che si potrebbe facilmente ridurre ad essere funzione delle sole α determinanti la posizione del manovellismo. Essa è però più opportuna sotto la forma indicata.

4. — Immaginiamo ora che nel punto M la forza centrifuga elementare $A \cdot \overline{MW}' \cdot dm$ sia decomposta nelle sue componenti $A \cdot \overline{Mw} \cdot dm$ e $A \cdot \overline{W'w} \cdot dm$, l'una normale all'asse della biella, l'altra lungo quest'asse. È chiaro che la componente normale produrrà flessione nella biella, l'altra genererà tensione o pressione lungo l'asse. Proponiamoci per ora di studiare le forze inflettenti nel quadrante indicato dalla figura.

Per ogni elemento della biella si trovi direttamente la componente normale della forza centrifuga, come è indicato nella fig. 19, e si tracci il diagramma rappresentante la legge di variazione degli sforzi normali. Il luogo geometrico dei punti w sarà la linea dei carichi a cui è sottoposta la biella perpendicolarmente al suo asse, e l'area compresa tra questa linea, tra l'asse accennato e le normali ai suoi punti estremi, rappresenterà, a parte un fattore costante, la risultante di tutte le forze centrifughe normali.

Riferiamo la linea dei carichi a due assi ortogonali, l'uno coincidente all'asse della biella, l'altro normale a questo col l'origine in B e poniamo $dm = S \gamma dx$, dove S è la sezione costante della biella e γ la sua densità di massa. La risultante N di tutte le forze normali sarà:

$$N = AS \gamma \int_0^l y dx, \quad (9)$$

ossia è proporzionale all'area del diagramma. Si tratta ora di definire analiticamente la linea dei carichi e l'area del diagramma.

Per giungere più rapidamente al risultato assumiamo un sistema ausiliario di coordinate polari coll'origine nel centro istantaneo I ; IW sia l'asse polare e l'angolo ω l'anomalia.

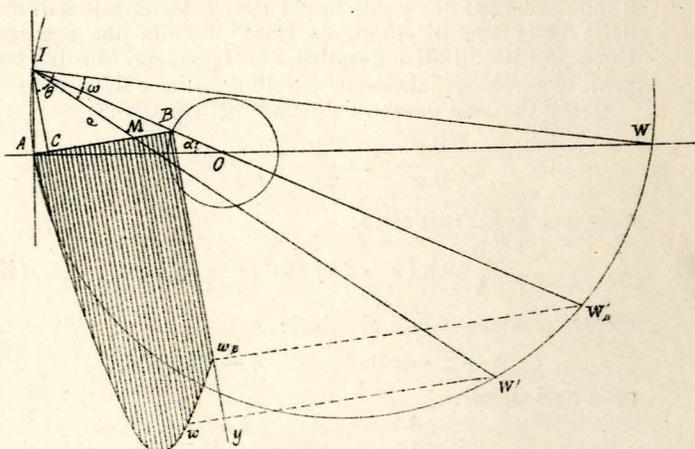


Fig. 19.

In questo sistema l'equazione del cerchio d'inflexione è:

$$\rho_1 = D \cos \omega, \quad (10)$$

essendo ρ_1 il raggio vettore IW' di un punto qualunque del cerchio; e quella dell'asse della biella:

$$\rho \cos(\theta - \omega) = h \quad (11)$$

intendendo con h la lunghezza IC della perpendicolare abbassata da I sulla biella e θ l'angolo noto tra questa perpendicolare e l'asse polare.

Siano ora x ed y le coordinate cartesiane BM, Mw del punto w appartenente alla linea dei carichi; si otterrà con facilità:

$$\begin{aligned} y &= \rho_1 \cos(\theta - \omega) - h \\ x &= h \operatorname{tg}(\theta - \omega) - h \operatorname{tg}(\theta - \omega) \end{aligned}$$

essendo ω_1, ω_2 gli angoli estremi WIB, WIA.

Poniamo ora $CB = l_1$, $AC = l_2$ e sostituiamo a ρ_1 il suo valore dato dalla (10); le due equazioni precedenti diventeranno:

$$\left. \begin{aligned} y &= D \cos \omega \cos(\theta - \omega) - h \\ x &= l_1 - h \operatorname{tg}(\theta - \omega) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

e con esse la curva Aw è completamente definita. Per ottenere un'unica equazione della curva basterebbe eliminare tra le due equazioni precedenti il parametro ω , e si otterrebbe allora un'equazione tra le sole xy . Però la forma (12) è più adatta al nostro scopo.

Esaminiamo la natura della curva (fig. 20). Appareisce dalla

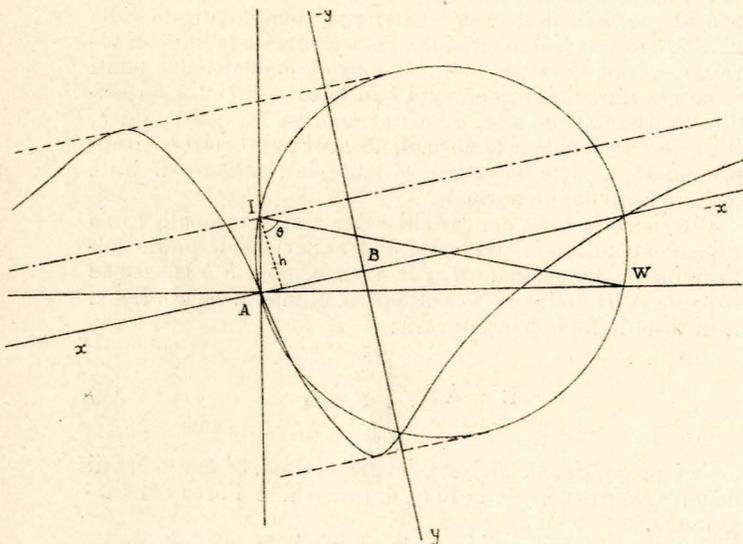


Fig. 20.

costruzione stessa che la linea dei carichi taglia il cerchio d'inflexione nei due punti in cui esso è incontrato dall'asse della biella Ax. Di più questa linea presenta due massimi, l'uno positivo e l'altro negativo, corrispondenti alle due tangenti al cerchio d'inflexione parallele all'asse delle x .

Questi massimi devono soddisfare all'equazione:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{d\omega} \frac{d\omega}{dx} = 0,$$

ossia per le (12) all'altra:

$$\frac{D}{h} \sin(\theta - 2\omega) \cos^2(\theta - \omega) = 0 \quad (13)$$

e corrispondono quindi ai valori:

$$\theta - 2\omega = 0 \quad \theta - 2\omega = \pi,$$

ossia agli angoli:

$$\omega = \frac{\theta}{2} \quad \omega = \frac{1}{2}(\theta - \pi),$$

essendo il primo un massimo positivo, l'altro un massimo negativo.

Nel nostro caso è il massimo positivo che interessa, e si vede chiaramente che poichè in generale la bisettrice dell'an-

golo θ non coincide colla IB, così anche la massima forza centrifuga normale in generale non si troverà in B, ma in un altro punto della biella. Però, aumentando l'angolo α della manovella, il punto I si allontana dalla biella ed aumenta considerevolmente il diametro D del cerchio d'inflexione; allora anche la bisettrice di θ si avvicinerà alla IB e potrà in un certo istante coincidere colla medesima e anche oltrepassarla. Per tutte le posizioni successive a quell'istante, il massimo sforzo normale si troverà sempre in B; e questo si riconosce subito dall'andamento della curva. Vedremo in seguito l'utilità di queste osservazioni.

Notiamo che l'equazione del massimo (13) presenta un'altra soluzione corrispondente ai valori:

$$\omega = \theta - \frac{\pi}{2} \quad \omega = \theta - \frac{3\pi}{2},$$

ma per questi si ha:

$$y = -h \quad x = \mp \infty.$$

La curva dei carichi ha perciò un asintoto parallelo all'asse della biella e passante per il centro d'istantanea rotazione.

5. — Definita la curva delle forze normali, passiamo a calcolarne l'area, ossia, a determinare la grandezza della risultante. In seguito ne fisseremo la posizione. Ricordiamo la formula (9) e le equazioni (12):

$$N = AS \gamma \int_0^l y dx$$

$$\left\{ \begin{aligned} y &= D \cos \omega \cos(\theta - \omega) - h \\ x &= l_1 - h \operatorname{tg}(\theta - \omega). \end{aligned} \right.$$

Dall'ultima si ha:

$$dx = \frac{h}{\cos^2(\theta - \omega)} d\omega, \quad (14)$$

e quindi:

$$\int_0^l y dx = D h \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\cos \omega}{\cos^2(\theta - \omega)} d\omega - h^2 \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{1}{\cos^2(\theta - \omega)} d\omega. \quad (15)$$

Per il primo integrale, con noti artifici si ottiene:

$$\begin{aligned} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\cos \omega}{\cos^2(\theta - \omega)} d\omega &= \\ &= - \left[(\omega_1 - \omega) \cos \theta - \operatorname{sen} \theta \log \frac{\cos(\theta - \omega)}{\cos(\theta - \omega_1)} \right], \end{aligned}$$

e per il secondo:

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{d\omega}{\cos^2(\theta - \omega)} = - [\operatorname{tg}(\theta - \omega) - \operatorname{tg}(\theta - \omega_1)].$$

Sostituendo nella (15):

$$\begin{aligned} \int_0^l y dx &= D h \left[\operatorname{sen} \theta \log \frac{\cos(\theta - \omega_2)}{\cos(\theta - \omega_1)} + (\omega_2 - \omega_1) \cos \theta \right] + \\ &+ h^2 [\operatorname{tg}(\theta - \omega_1) - \operatorname{tg}(\theta - \omega_2)]. \end{aligned} \quad (16)$$

Noi possiamo semplificare questa espressione, ricordando che:

$$AC = l_2 \quad CB = l_1 \quad l = l_1 + l_2$$

Infatti dalla fig. 19:

$$\operatorname{tg}(\theta - \omega_2) = -\operatorname{tg} \widehat{AIC} = -\frac{l_2}{h}$$

$$\operatorname{tg}(\theta - \omega_1) = \operatorname{tg} \widehat{CIB} = \frac{l_1}{h}$$

ed il secondo termine della (16) diventa $-hl$. Di più:

$$\cos(\theta - \omega_2) = \frac{h}{IA} \quad \cos(\theta - \omega_1) = \frac{h}{IB}$$

$$\frac{\cos(\theta - \omega_2)}{\cos(\theta - \omega_1)} = \frac{IB}{IA}$$

Inoltre $(\omega_2 - \omega_1)$ è il complemento di α e quindi:

$$= \left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right).$$

Sostituendo queste ultime espressioni nella (16), si ha:

$$\int_0^l y dx = h \left[D \operatorname{sen} \theta \log \frac{IB}{IA} + \left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) D \cos \theta - l \right] \quad (17)$$

Ed infine ritornando alla (9), dopo aver rimesso il valore primitivo di A e aver posto $C = a^2 \omega^2 S \gamma$:

$$N = C \frac{h}{BI} \left[D \operatorname{sen} \theta \log \frac{IB}{IA} + \left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) D \cos \theta - l \right], \quad (18)$$

che è la formola esatta per la risultante degli sforzi inflettenti.

Il calcolo di questa espressione dipende, come si vede, da elementi dati dal tracciato grafico; ma noi abbiamo già notato che, per valori di α abbastanza vicini alle quadrature, il tracciato riesce incomodo a causa dei grandi valori del diametro D e non può prestarsi per la pratica; importa quindi, come abbiamo fatto per D, definire analiticamente anche gli altri elementi: h, BI, IA, θ .

Esaminando la figura, noi troviamo le relazioni:

$$IB = \frac{l \cos \beta}{\cos \alpha},$$

essendo l'angolo $\beta = BAO$:

$$IA = \left(\frac{l \cos \beta}{\cos \alpha} + a\right) \operatorname{sen} \alpha$$

$$h = IB \operatorname{sen}(\alpha + \beta)$$

essendo anche:

$$l \operatorname{sen} \beta = a \operatorname{sen} \alpha.$$

Detto poi φ l'angolo che il diametro IW fa con IA, si ha:

$$\frac{IA}{D} = \cos \varphi \quad \theta = \varphi - \beta.$$

Queste relazioni permettono di calcolare la N, essendo dati i soli elementi necessari l, a, α .

6. — Esaminiamo la formola (18) in alcuni casi speciali:

a) Supponiamo che la biella sia tangente al cerchio della manovella. Allora:

$$BI = h = \frac{l^2}{a} \quad \frac{BI}{IA} = \operatorname{sen} \alpha = \frac{l}{\sqrt{l^2 + a^2}}$$

La formola diventa quindi:

$$N_1 = \frac{Ca}{l^2} \left[D \operatorname{sen} \theta \log \frac{l}{\sqrt{l^2 + a^2}} - D \cos \theta \operatorname{arc.} \operatorname{tg} \frac{a}{l} - l \right] \quad (18)$$

Calcoliamo il diametro D. Riferendoci alla fig. 18 abbiamo in questo caso:

$$OW_b = \frac{h^2}{a} - a \quad AW = AO + \frac{IO}{AO} \left(\frac{h^2}{a} - a \right)$$

ossia osservando che:

$$\frac{IO}{AO} = \frac{1}{\cos \alpha}$$

e che:

$$\overline{AW} = \frac{h^2}{a} \frac{1}{\cos \alpha} = \left(\frac{l}{a}\right)^2 \sqrt{l^2 + a^2}.$$

Ora abbiamo:

$$D = \sqrt{AW^2 + IA^2} \quad \text{e} \quad IA = \frac{l}{a} \sqrt{l^2 + a^2}$$

quindi:

$$D = \frac{l}{a} \sqrt{(l^2 + a^2) \left[\left(\frac{l}{a}\right)^2 + 1 \right]} \quad (19)$$

Di più:

$$\cos \varphi = \frac{IA}{D} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{l}{a}\right)^2 + 1}} \quad (20)$$

$$\theta = \varphi - \operatorname{arc.} \operatorname{tg} \frac{a}{l} \quad (21)$$

Le formole (19), (20), (21) bastano al calcolo diretto della (18).

Notiamo che il valore di N_1 dato dalla nostra formola esatta (18), per il caso speciale della biella tangente si avvicina moltissimo a quello ricavato dalla formola pratica approssimata. La ragione di tale coincidenza la vedremo in seguito. Avvertiamo però fin d'ora che colle ipotesi che comunemente si fanno per semplificare la questione, la posizione di biella tangente è quella che corrisponde al massimo della forza centrifuga normale; ciò in realtà non si verifica; esistono posizioni in cui la forza centrifuga assume dei valori maggiori di quel massimo che è dato dalle formole approssimate.

b) Se noi volessimo ora applicare la formola generale (18) ai due casi speciali di $\alpha = 0$ e $\alpha = \frac{\pi}{2}$, si troverebbe indeterminazione. Questi due casi devono perciò essere trattati separatamente.

Per il caso di $\alpha = 0$ la questione è subito risolta, poichè per $\alpha = 0, N = 0$. Basta infatti considerare le traiettorie descritte dai vari punti della biella nella posizione iniziale indicata, tutte queste traiettorie hanno le normali in una direzione comune coincidente coll'asse della biella; perciò le varie forze centrifughe elementari, dirette sempre secondo le normali, non potranno avere componenti perpendicolari alla biella e N risulterà nullo. La forza centrifuga in questo caso si esplicherà solo come tensione o pressione lungo l'asse.

Il caso di $\alpha = \frac{\pi}{2}$ è un po' più complesso, ma noi lo risolveremo col seguente artificio. Immaginiamo che l'angolo α sia abbastanza prossimo a $\frac{\pi}{2}$. Il centro istantaneo I si troverà allora ad una distanza da A (fig. 18) così grande rispetto alle dimensioni della biella, che le normali alle traiettorie dei vari punti della biella stessa si potranno considerare sensibilmente parallele alla direzione IA. La risultante di tutte le forze centrifughe elementari agenti secondo quelle normali sarà allora approssimativamente uguale alla loro somma, e noi potremo calcolarla integrando direttamente la (6):

$$F = A \int MW^2 \cdot dm \quad (22)$$

coi limiti opportuni.

Da questa risultante passeremo alla N, trovandone la componente normale ad AB:

$$N = F \cdot \cos \beta \tag{23}$$

Per integrare la (22), riferendoci ancora alla fig. 18, detto ρ il raggio vettore IM, abbiamo:

$$\overline{MW'} = D \cos \omega - \rho$$

e quindi:

$$F = A \int (D \cos \omega - \rho) dm \tag{24}$$

estendendo l'integrale a tutti gli elementi della biella.

Ora per la piccolezza dell'angolo ($\omega - \omega_1$) entro il quale deve essere estesa l'integrazione, nell'integrale:

$$A D \int \cos \omega dm$$

in luogo di $\cos \omega$ possiamo sostituire un valor medio costante tra $\cos \omega_1$ e $\cos \omega_2$. Essendo:

$$\cos \omega_1 = \frac{IB + BW'_B}{D} \quad \cos \omega_2 = \frac{IA}{D}$$

il valor medio sarà:

$$\frac{IB + BW'_B + IA}{2D}$$

e l'integrale accennato:

$$A (IB + BW'_B + IA) \frac{M}{2}$$

Analogamente per il secondo integrale in luogo di ρ variabile, possiamo prendere un valor costante IA. Il valore:

$$A \int \rho dm = A \cdot M \cdot \overline{IA}$$

sarà tanto più prossimo al vero quanto più sarà lontano il punto I. Con queste riduzioni la formola (24) diventa:

$$F = A \frac{M}{2} \left[\overline{IB} + \overline{IA} + \overline{BW'_B} - 2 \overline{IA} \right]$$

Ma IB differisce assai poco da IA, come abbiamo già ammesso, quindi:

$$F = A \cdot \frac{M}{2} \overline{BW'_B}$$

Sostituiamo ad A il suo valore e rammentiamo che per il teorema di Gilbert si ha:

$$\overline{BW'_B} \cdot a = \overline{BI}^2$$

risulterà:

$$F = \frac{a^2 \omega^2}{\overline{BI}^2} \frac{M}{2} \frac{\overline{BI}^2}{a} = \frac{M}{2} a \omega^2 \tag{25}$$

la quale ci mostra che la forza centrifuga ha un valore sensibilmente costante per α vicino a $\frac{\pi}{2}$. Se ora noi consideriamo che le supposizioni fatte sono tanto più giustificate quanto più α è vicino a $\frac{\pi}{2}$, potremo concludere che il valore (25) è veramente il limite, ossia l'espressione della forza centrifuga nella posizione di quadratura. La (25) significa poi:

« Che la forza centrifuga totale nella biella corrispondente alla posizione di $\alpha = \frac{\pi}{2}$ è quella stessa che si avrebbe se metà della massa totale della biella fosse concentrata nel bottone della manovella ».

Si ha ancora dalla (23):

$$N = \frac{M}{2} a \omega \cos \beta \tag{26}$$

e questa è la componente normale cercata.

7. — Vogliamo ora mostrare quali relazioni esistano tra le nostre formole e quelle usate comunemente.

In pratica non si considerano della forza centrifuga che le componenti normali alla biella e si sogliono determinare nel modo seguente: s'immagini la biella tangente alla periferia

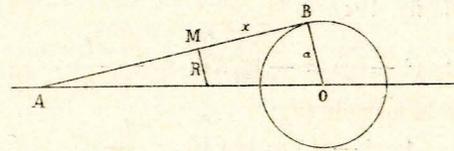


Fig. 21.

descritta dal bottone della manovella, e si supponga che i vari punti di essa descrivano dei cerchi simili a quelli del bottone stesso. Se ω è la velocità angolare costante per tutti i cerchi e se R è il raggio della traiettoria del punto qualunque M, conservando le notazioni precedenti, si ha per la forza centrifuga elementare in M:

$$dN = S \gamma R \omega^2 dx$$

Ma dalla figura:

$$R : a = (l - x) : l$$

Sostituendo ed integrando:

$$N = S \gamma \omega^2 \frac{a}{l} \int_0^l (l - x) dx = S \gamma l \omega^2 \frac{a}{2}$$

Ma $S \gamma l = M$, quindi:

$$N = \frac{M}{2} a \omega^2 \tag{27}$$

che è la forza centrifuga normale. Questa forza è massima nella posizione tangenziale indicata; in ogni altra posizione, come ipotesi fatte, è minore.

Esaminiamo col nostro metodo geometrico il grado di approssimazione della (27). Sia AB la biella tangente e BO la manovella; l'angolo θ che la normale calata dal centro istantaneo sulla biella fa col diametro IW del centro d'inflessione è in questo caso tutto fuori dell'angolo AIB. La bisettrice di quest'angolo sarà quindi situata a destra di BO. Ma allora, per una considerazione fatta precedentemente (n. 4), il massimo della linea dei carichi si trova anch'esso situato a destra dell'asse By (V. fig. 19) e la porzione di curva situata tra quest'asse e l'asse delle x ha un andamento sensibilmente rettilineo. Il diagramma dei carichi normali si può allora con approssimazione ritenere rappresentato da un triangolo rettangolo avente per cateti gli assi coordinati. Determiniamo l'area di questo triangolo. Dalla fig. 22 si ha che quest'area è data da:

$$l \cdot \frac{\overline{BW'}}{2}$$

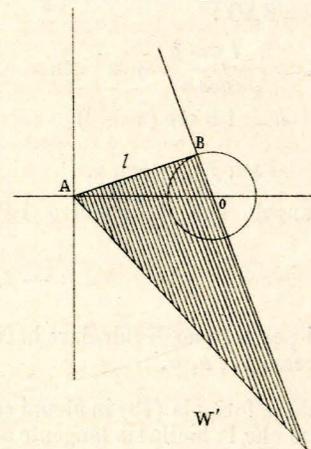


Fig. 22.

Ma il punto W' è situato sul cerchio d'inflessione, quindi se con I indichiamo il solito centro istantaneo (non segnato nella figura) per il teorema di Gilbert:

$$\overline{BW'} = \frac{\overline{BI}^2}{a}$$

quindi l'area:

$$l \cdot \frac{B I^2}{2 a}$$

Ricordiamo la formula (9):

$$N = A S \gamma \int_0^l y dx = A S \gamma l \frac{B I^2}{2 a}$$

e sostituiamo ad A il suo valore; otterremo riducendo:

$$N = S \gamma l \frac{a \omega^2}{2} = \frac{M}{2} a \omega^2$$

formola che coincide esattamente colla (27). L'approssimazione sarà quindi tanto più grande quanto più la linea dei carichi normali si avvicinerà alla linea retta; il che equivale a dire che l'approssimazione sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà il rapporto $\frac{l}{a}$. Infatti aumentando questo rapporto aumenta l'angolo α di tangenza e con esso il diametro del cerchio d'inflexione e l'angolo θ .

8. — Quanto abbiamo detto riguardo alla N ed in genere alle forze centrifughe normali lo abbiamo supposto riferirsi sempre al primo quadrante. Ma è facile convincersi che la nostra formola (18) è generale e vale per qualunque posizione del manovellismo, purchè si conservino le convenzioni fatte per i sistemi d'assi coordinati. Ne deriva quindi che per cercare la posizione in cui la forza normale N risulta massima, non occorre altro che cercare il valore massimo della (18), espressa come funzione della sola variabile α .

Il calcolo di questo massimo, che è quello che maggiormente interessa per la stabilità delle bielle nelle macchine a grande velocità, è analiticamente troppo complesso per potersi svolgere con formola generale; gioverà meglio procedere per tentativi, il che si può fare colle nostre formole anche speditamente. E qui è bene osservare che poichè nel movimento del manovellismo tutte le traiettorie dei vari punti della biella sono simmetriche rispetto alla direzione A O, così la ricerca della massima forza N si potrà restringere ai primi due quadranti. Di più considerando due posizioni simmetriche rispetto alla linea delle quadrature e situate una nel primo e l'altra nel secondo quadrante, è facile convincersi dal tracciato grafico che nel primo quadrante si ha sempre una forza N maggiore. La ricerca del massimo potrà farsi quindi soltanto nel quadrante da noi considerato.

Colla formola pratica un tale massimo corrisponde alla posizione tangenziale della biella ed ha il valore $N = \frac{M}{2} a \omega^2$;

colla formola esatta in generale ciò non accadrà, e si incontreranno anche dei valori maggiori di questo massimo. Però siccome nei manovellismi comuni (motrici a vapore) il massimo di N non è molto discosto, nè in posizione, nè in grandezza da quello dato dalla formola pratica, così quest'ultima è sufficientemente approssimata per i casi ordinari; sarà necessario ricorrere alla formola esatta per macchine a grande

velocità quando il rapporto $\frac{a}{l}$ si allontani notevolmente dai

valori più frequenti di $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{5}$. In questo caso, fissata con

pochi tentativi la posizione del massimo, si traccierà il diagramma dei carichi normali e da questo, coi metodi semplici della statica grafica, si deriverà la curva dei momenti flettenti che servirà al calcolo della stabilità della biella.

9. — Passiamo allo studio della forza centrifuga agente lungo l'asse della biella.

Sebbene questo genere di sollecitazione sia praticamente trascurabile di fronte alle forti tensioni o compressioni a cui si trova ordinariamente assoggettata la biella, pure anche per completare la nostra ricerca non sarà fuori di luogo darne brevemente un'esatta nozione.

Ritorniamo alla fig. 18 e immaginiamo che sulla perpendi-

colare M w in luogo della componente normale sia portata la componente W' w parallela all'asse A B. Ripetendo questa operazione per tutti i punti M della biella, otterremo una nuova curva, la quale ci rappresenterà la legge della variazione delle forze centrifughe assiali nei diversi punti della biella. L'area compresa tra questa curva e gli assi coordinati equivarrà allo sforzo totale lungo A B.

Non è difficile ottenere l'equazione di questa nuova curva; infatti conservando per i sistemi di coordinate le stesse convenzioni del caso precedente per le forze normali, e chiamando con x' y' le coordinate rettangole dei punti di questa curva, si ha subito dalla figura:

$$\left. \begin{aligned} W' w = y' &= D \cos \omega \sin (\theta - \omega) - h \operatorname{tg} (\theta - \omega) \\ x' &= l_1 - h \operatorname{tg} (\theta - \omega) \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

oppure valendosi delle coordinate x ed y della curva delle forze normali:

$$\left. \begin{aligned} y' &= y \operatorname{tg} (\theta - \omega) \\ x' &= x \end{aligned} \right\} \quad (28,)$$

Le due equazioni (28) o le (28,) servono a definire completamente la nuova curva, la quale taglia l'asse delle x nei due

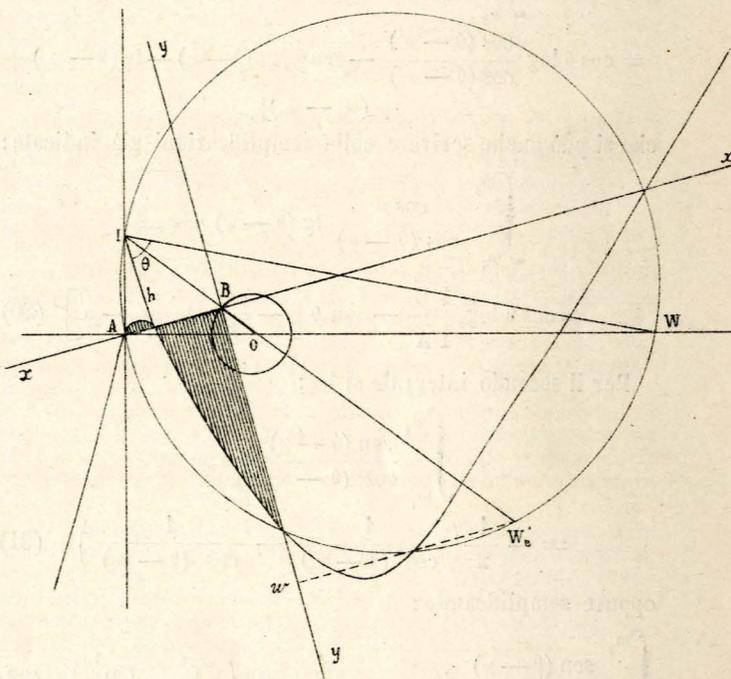


Fig. 23.

punti in cui questo incontra il cerchio d'inflexione precisamente come la curva delle forze normali, ed una terza volta lo taglia al punto corrispondente ad $\omega = \theta$.

Per $\omega > \theta$ e minore di ω_2 l'ordinata riesce negativa, e quindi negativa anche l'area racchiusa dalla curva in quella regione. Ciò vuol dire che finchè la normale calata da I sulla biella incontra quest'ultima tra A e B, si potranno avere nel diagramma aree positive e negative e quindi sforzi di senso contrario lungo l'asse; se il piede della normale cade invece fuori di A B, gli sforzi saranno sempre del medesimo segno. Ne consegue che sforzi del medesimo segno si avranno soltanto nel secondo e terzo quadrante (contati nella direzione del moto) (V. fig. 16), e sforzi di senso opposto nel primo e nel quarto.

La curva presenta poi due massimi finiti, uno positivo e l'altro negativo, rispondenti alla solita equazione $\frac{dy}{dx} = 0$ ed uscita dal cerchio d'inflexione si spinge all'infinito.

Per calcolare l'area compresa tra la curva e gli assi coordinati assumiamo il sistema ausiliario di coordinate polari

coll'asse IW e l'anomalia ω . Avremo dalle (28), omettendo gli indici:

$$dx = \frac{h}{\cos^2(\theta - \omega)} d\omega$$

e quindi:

$$\int_0^l y dx = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \left(\frac{D h \cos \omega \sin(\theta - \omega)}{\cos^2(\theta - \omega)} - \frac{h^2 \operatorname{tg}(\theta - \omega)}{\cos^2(\theta - \omega)} \right) d\omega$$

ossia:

$$\int_0^l y dx = D h \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\cos \omega}{\cos(\theta - \omega)} \operatorname{tg}(\theta - \omega) d\omega - h^2 \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\sin(\theta - \omega)}{\cos^2(\theta - \omega)} d\omega \quad (29)$$

Per il primo integrale a destra:

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\cos \omega}{\cos(\theta - \omega)} \operatorname{tg}(\theta - \omega) d\omega = \cos \theta \log \frac{\cos(\theta - \omega_2)}{\cos(\theta - \omega_1)} - \sin \theta [\operatorname{tg}(\theta - \omega_2) - \operatorname{tg}(\theta - \omega_1) + (\omega_2 - \omega_1)]$$

che si può anche scrivere colle semplificazioni già indicate:

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\cos \omega}{\cos(\theta - \omega)} \operatorname{tg}(\theta - \omega) d\omega = \cos \theta \log \frac{IA}{IA} - \sin \theta \left[-\frac{l}{h} + \frac{\pi}{2} - \alpha \right] \quad (30)$$

Per il secondo integrale si ha:

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\sin(\theta - \omega)}{\cos^2(\theta - \omega)} d\omega = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\cos^2(\theta - \omega_2)} - \frac{1}{\cos^2(\theta - \omega_1)} \right) \quad (31)$$

oppure semplificando:

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\sin(\theta - \omega)}{\cos^2(\theta - \omega)} d\omega = -\frac{1}{2h^2} + \left(\frac{1}{IA^2} - \frac{1}{IB^2} \right) \quad (32)$$

Sostituendo i valori (30), (32) nella (29):

$$\int_0^l y dx = D h \left[\cos \theta \log \frac{IB}{IA} + \frac{l}{h} \sin \theta - \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \sin \theta \right] + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{IA^2} - \frac{1}{IB^2} \right)$$

ossia:

$$\int_0^l y dx = h \left[D \cos \theta \log \frac{IB}{IA} - D \sin \theta \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \right] + l D \sin \theta + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{IA^2} - \frac{1}{IB^2} \right)$$

Se ora indichiamo con L la forza centrifuga assiale, ricordando le precedenti notazioni, si ha:

$$L = \frac{C}{BI^2} \int_0^l y dx$$

e quindi:

$$L = \frac{C}{BI^2} \left\{ h \left[D \cos \theta \log \frac{IB}{IA} - D \sin \theta \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \right] + l D \sin \theta + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{IA^2} - \frac{1}{IB^2} \right) \right\} \quad (33)$$

formola che corrisponde alla (18).

10. — Per l'applicazione della (33) si potrebbero fare considerazioni analoghe a quelle svolte precedentemente per le forze normali, ma su queste noi non ci fermeremo. Vogliamo piuttosto analizzare la formola in alcuni casi speciali.

a) Per $\alpha = \frac{\pi}{2}$ la (33) risulta indeterminata. Ricorriamo allora alla (25), che ci dà il valore della forza centrifuga totale nella posizione in quadratura parallelamente ad IA ; proiettando questa forza nella direzione AB avremo la componente cercata, cioè:

$$L = F \sin \beta = \frac{M}{2} a \omega^2 \sin \beta \quad (34)$$

b) Per $\alpha = 0$ abbiamo pure indeterminazione. Ma quando il centro d'istantanea rotazione viene a coincidere con A , tutti i punti della biella descrivono archetti infinitesimi di cerchio con centro in A , e le normali alle traiettorie coincidono nell'unica direzione AB . Per trovare la forza L basterà quindi sommare tutte le forze elementari dei vari punti della biella.

Integriamo l'espressione fondamentale (6):

$$dF = dL = A \cdot \overline{MW} \cdot dm$$

Descritto il cerchio d'inflessione per la posizione indicata, sarà:

$$D = l + \overline{BW} = l + \frac{l^2}{a}$$

e

$$\overline{MW} = D - x$$

essendo M un punto qualunque della biella ed x la sua ascissa contata a partire da A . Poniamo $dm = S \gamma dx$ ed integriamo:

$$L = AS \gamma \int_0^l (D - x) dx = AS \gamma \left(D l - \frac{l^2}{2} \right)$$

da cui sostituendo ad A e D i loro valori:

$$L = S \gamma \frac{a^2 \omega^2}{l} \left(\frac{l^2}{a} + \frac{l^2}{2} \right)$$

ossia:

$$L = C \left(\frac{1}{2} + \frac{l}{a} \right) \quad (35)$$

o anche:

$$L = \frac{M}{2} a \omega^2 \left(2 + \frac{a}{l} \right) \quad (35_1)$$

che è il valore della forza centrifuga lungo l'asse nella posizione $\alpha = 0$.

11. — Noti i valori di L e N per una posizione qualunque del manovellismo, si può ricavare da questi il valore di F , forza centrifuga totale risultante:

$$F = \sqrt{L^2 + N^2} \quad (36)$$

e questa forza passa evidentemente per il centro istantaneo di rotazione, essendo definita in posizione e senso dal tracciato grafico. Tale forza segnerà sulla biella il punto d'applicazione della risultante medesima.

FISICA SPERIMENTALE

I RAGGI X DI RÖNTGEN

O LA COSÌ DETTA FOTOGRAFIA DELL'INVISIBILE.

Sul finire dell'anno passato comparve a Würzburg una piccola memoria di sole 10 pagine intitolata: *Eine neue Art von Strahlen* « Una nuova forma di radiazioni »; autore il dottore Guglielmo Corrado Röntgen, professore dell'Università.

Rare volte una scoperta scientifica ha prodotto nel mondo intero tanta impressione quanto la presente. Gli scienziati tutti si sono interessati alla riproduzione dei fenomeni in detta Memoria descritti, ed il pubblico è accorso ed accorre in massa ad ammirarli. La Società Urania a Berlino ha dovuto tenere diverse Conferenze al giorno, e prenotare i posti per assistere alle esperienze per settimane e settimane!

È ammirabile la semplicità con cui Röntgen espone le sue osservazioni. È poi doveroso il riconoscere che tutto quanto per ora sappiamo di positivo in riguardo ai raggi X, come li chiamò lo scopritore, è già contenuto nella breve, ma interessantissima Memoria succitata. Tutti non hanno fatto che ripetere le esperienze, ottenendo fors'anche fotografie migliori, ma una disposizione veramente nuova che permetta con maggior sicurezza e minor tempo di fotografare l'invisibile, ancora non si conosce, come nessuna esperienza decisiva che getti maggior luce sull'essenza dei raggi, giustamente chiamati Röntgen. Ecco ora un sunto della Memoria succitata.

1° Facendo passare la scarica di un grosso rocchetto di Ruhmkorff attraverso ad un tubo di Hittorf, Lenard, Crookes e simili, sufficientemente esausto, venne fatto all'autore di osservare che in una stanza perfettamente oscura, col tubo avviluppato da cartone nero, così che luce non traspariva, uno schema di carta imbevuta di una soluzione di cianuro di borio e platino diventava fluorescente anche a 2 metri di distanza dal tubo coperto, fenomeni che cessavano immediatamente sospendendo le scariche nel tubo. Ecco il punto di partenza.

2° Concluse allora l'autore che attraverso al cartone passavano raggi finora incogniti capaci di attivare la fluorescenza, raggi che non si riscontrano nella radiazione solare, mentre i raggi ultra violetti non passano attraverso lo schermo di carta nera; ei si propose subito di determinare attraverso a quali sostanze si poteva propagare l'azione di questi raggi. E notò che i corpi sono diversamente trasparenti per questi raggi; la carta è trasparentissima, osservandosi la fluorescenza anche attraverso un libro di 1000 pagine, un foglio sottile di stagnola si lasciava pure attraversare dall'ignoto agente, mentre più fogli ritagliati ed interposti fra il libro e la sostanza fluorescente, proiettavano un'ombra che permetteva di distinguere la forma della stagnola interposta.

Il legno, l'ebanite, l'alluminio non troppo grosso, sono trasparenti. Il vetro Flint, che contiene piombo, è pochissimo trasparente purchè sottile, il Crown lo è assai di più, ma meno assai delle sostanze sopracitate. Si interponga la mano fra il tubo e lo schermo fluorescente, e si vedranno le ombre più oscure delle ossa della mano rilevate su le ombre meno forti della intera mano (sono le precise parole del Röntgen). L'acqua, il solfuro di carbonio ed altri liquidi esaminati in recipienti di mica sono molto trasparenti. Si può osservare la fluorescenza anche dietro lamine di rame, argento, piombo, oro, platino, purchè sottili, pel platino non più grosso di mm. 0,2, di mm. 0,15 per il piombo. Il piombo costituisce quindi il più pratico intercettatore dei raggi X. Come i metalli si comportano i loro sali, solidi, o sciolti, o distesi a tinta.

3° Risulta quindi che sulla maggiore o minor trasparenza ha molta influenza la densità dei corpi. Però osservasi che mentre le lastre di vetro, alluminio, calcite e quarzo hanno presso a poco eguale densità, la calcite è assai meno trasparente; il che prova che non la sola densità dei corpi presiede al fenomeno.

4° Crescendo lo spessore, tutti i corpi risultano meno trasparenti. Per maggiori confronti l'autore ricorse alla fotografia, sovrapponendo alla lastra fotografica coperta da un cartone, strati sempre più grossi di stagnola.

5° Ridusse poi lamine di Pt, Pb, Zn, Al a tali relativi spessori da dare eguale trasparenza ed ottenne:

	Pt.	Pb.	Zn.	Al.
Densità	21.5	11.3	7.1	2.6
Spessore in mm.	0,018	0,05	0,10	3,5

6° Anche altre materie oltre il doppio cianuro di borio e platino danno la fluorescenza, così i composti fosforescenti di calcio, il vetro d'Urania, il vetro solito, il sal gemma, la calcite. Di speciale importanza è il fatto che le lastre fotografiche preparate a secco sono sensibili ai raggi X, potendosi in tal modo fissar meglio i fenomeni che non coll'osservazione diretta. E siccome l'azione fotografica si propaga quasi senza trovare ostacoli attraverso legno, carta, cartone, ecc., così si può predisporre

la lastra entro il suo *chassis* o fra due cartoni, od involta nella carta nera, e si può quindi provvedere alla impressione della lastra a mezzo dei raggi X anche di pieno giorno. Soltanto bisognerà impedire che lastre così predisposte e sulle quali la luce diffusa non ha azione, si trovino in vicinanza dei raggi X.

Resta però a sapersi se l'azione chimica sulla lastra fotografica sia data direttamente dai raggi X, oppure dalla fluorescenza che essi sviluppano sulla lastra di vetro, e forse anche nello strato di gelatina. Anche le pellicole danno eguale effetto delle lastre fotografiche. Non ho potuto ancora riscontrare, dice l'autore, se i raggi X possano determinare anche effetti calorifici, ma si può ammetterlo.

La retina del nostro occhio non è sensibile ai detti raggi; l'occhio anche collocato vicino al tubo non vede nulla, benchè si debba ammettere che i mezzi dell'occhio si lascino penetrare dai raggi X.

7° Messa in chiaro la trasparenza di molti corpi, anche di forte spessore, l'Autore tentò di provare se i raggi si rifrangevano facendoli attraversare prismi di mica contenenti acqua o solfuro di carbonio, ma non potè osservare deviazione nè a mezzo dello schermo fluorescente, nè della fotografia; mentre i raggi di luce venivano deviati di 10, e rispettivamente di 20 millim.

Con prismi di ebanite, e d'alluminio, non esclude d'aver avuto una piccola deviazione che potrebbe al più riferirsi ad un indice di rifrazione di 1.05. Con prismi di metalli più densi a causa della poca loro trasparenza, non ottenne risultati soddisfacenti.

Vista l'importanza di poter stabilire se i raggi X si rifrangono o meno, l'autore ricorse ad osservazioni indirette per chiarire la cosa, ed osserva come la luce passi male attraverso materie polverizzate in causa della rifrazione e riflessione; mentre i raggi X passano egualmente bene attraverso il sal gemma in cristalli od in polvere, attraverso l'argento precipitato per via elettrolitica, l'ossido di zinco, ecc.; il che porterebbe alla conclusione che i raggi X nè si riflettono nè si rifrangono sensibilmente.

8° Per chiarir meglio se realmente una riflessione abbia luogo, o meno, l'autore eseguì la seguente esperienza. Espose all'azione dei raggi X una lastra fotografica (coperta con carta nera) e in modo che si presentasse al tubo dalla parte del vetro, e sotto la gelatina bromuro, dispese a disegno lastre di piombo, platino, zinco ed alluminio. Ora la lastra si mostrò impressionata specialmente in corrispondenza alla lastra di zinco, mentre non lo era punto nel luogo in corrispondenza all'alluminio che per esser più trasparente aveva lasciato passare i raggi. Tenendo conto di questo fatto: che le polveri si lasciano attraversare dai raggi X come i corpi coerenti, le superfici levigate come le superfici rugose, l'autore conchiude che una vera e propria riflessione non abbia luogo, bensì che si abbia una specie di dispersione analoga a quella che si osserva per la luce nei mezzi torbidi.

È siccome non si manifesta una rifrazione, si dovrà anche concludere che i raggi X si propagano con eguale velocità in tutti i corpi, o meglio in un mezzo, sparso ovunque, nel quale sono adagiate le molecole dei corpi che offrono al passaggio dei raggi un ostacolo tanto maggiore quanto maggiore è la densità.

9° Sembrerebbe quindi probabile che anche la disposizione delle molecole nei corpi dovesse avere influenza nella loro trasparenza, che quindi la calcite ad esempio dovesse comportarsi diversamente secondo che i raggi l'attraversano in direzione dell'asse del cristallo od in direzione ad esso perpendicolare; ma l'autore aggiunge di non aver ottenuti risultati apprezzabili nè colla calcite nè col quarzo.

10° È noto che il Lenard nelle sue ricerche sul passaggio dei raggi catodici di Hittorf attraverso a sottili fogli di alluminio, giunse alla conclusione che questi raggi dipendono da vibrazioni dell'etere, e che si diffondono in tutti i corpi; anzi determinò il coefficiente di assorbimento di vari corpi per i raggi catodici, e lo trovò dipendente dalla rarefazione del gas contenuto nel tubo di scarica.

Il Röntgen nelle sue ricerche adoperò sempre la stessa rarefazione e determinò anche per i raggi X l'intensità della fluorescenza eccitata a diverse distanze, e trovò che l'intensità era sempre inversamente proporzionale al quadrato delle distanze, concludendo che i raggi X attraversano meglio l'aria che non i raggi catodici. Difatti sopra fu riportato come si possono avere fenomeni di fluorescenza anche a 2 metri di distanza dal tubo. Come l'aria si comportano gli altri corpi che tutti si lasciano attraversar meglio dai raggi X, che non dai raggi catodici.

11° Un'altra marcata distinzione, secondo l'autore, si osserva fra i raggi catodici ed i raggi X in ciò che non gli è riuscito, anche impiegando campi magnetici assai forti, di deviarli, mentre è noto che i raggi catodici si deviano facilmente; anzi dalle esperienze di Hertz e di Lenard risulterebbero deviazioni differenti, come si hanno fosforescenze differenti, a seconda dei raggi catodici impiegati che sarebbero di specie diverse.

12° Dall'esperienza risulta che è dal punto di massima fluorescenza del tubo che partono in tutte le direzioni i raggi X; e deviando nell'interno del tubo i raggi catodici così che colpiscono un altro punto generandovi forte fluorescenza, è da questo che emanano i raggi X. Anche per questo motivo i raggi X che non si rifrangono, non possono essere semplicemente raggi catodici passati attraverso il vetro;

perciò l'autore concluderebbe che: *I raggi X non sieno identici ai raggi catodici, ma che invece vengano da quest'ultimi eccitati sulla parete del tubo dove colpiscono.*

13° Tale eccitazione non si osserva solo nel vetro, ma benanche nella lastra d'alluminio di 2 mm. di spessore che chiude il tubo con cui sperimentava l'autore, e probabilmente in altri corpi che si propongono di studiare.

14° L'autore giustifica il nome di raggi dato a questa influenza che emana dalle pareti del tubo, dalle ombre molto regolari che essi proiettano di corpi più o meno opachi, ed enumera alcune delle principali fotografie ottenute, come l'ombra delle ossa della mano, del filo metallico avvolto su d'un rocchetto di legno, dei pesi chiusi nella loro cassetta, dell'ago di una bussola, delle imperfezioni di omogeneità in un pezzo di metallo.

15° Ricerche per produrre fenomeni di interferenza rimasero per ora senza risultato.

16° Esperienze per mettere in chiaro se per caso azioni elettrostatiche influenzino i raggi X, occupano tutt'ora l'autore.

17° Se ora ci domandiamo, conclude il Röntgen, che cosa sieno i raggi X, che non possono essere raggi catodici, tenuto conto della loro azione eccitatrice, della fluorescenza, e della impressione fotografica che producono, saremmo tentati a paragonarli ai raggi ultra violetti; ma invece considerando che:

1° Non vengono rifratti,

2° Non vengono regolarmente riflessi,

3° Non possono quindi venir polarizzati nel modo solito,

4° Il loro assorbimento non è determinato essenzialmente che dalla loro densità; è forza concludere che questi raggi si comportano diversamente dai raggi ultra rossi, dai raggi luminosi, dai raggi ultra violetti.

E per questi motivi l'autore, non potendoli considerare per raggi ultra violetti e pur tenendo conto che proiettano l'ombra, ed impressionano le lastre fotografiche, è portato a credere che dipendano, non da vibrazioni trasversali dell'etere ma da vibrazioni longitudinali, non solo possibili, ma ben anche da molti fisici credute necessarie. Certo la loro essenza non è ancora abbastanza nota, come le loro proprietà non sono ancora abbastanza studiate.

L'autore propende dunque a credere che sieno dovuti a vibrazioni longitudinali dell'etere; e solo esperienze future potranno decidere.

(Rivista Scientifico-Industriale).

BIBLIOGRAFIA

Sul planimetro a scure di Prytz. — Nota dell'Ing. G. B. MAFFIOTTI. — Op. in-8°, di pag. 20, con 7 figure nel testo. — Estratto dalla *Rivista di Topografia e Catasto*. — Torino, 1896.

Il sig. H. Prytz, capitano nell'esercito danese, ha ideato un planimetro che sorprende per la sua estrema semplicità. Lo strumento (fig. 24) consta semplicemente di un'asta rigida, le cui estremità ripiegate ad angolo retto hanno l'una la forma di un sottile gambo g terminato a punta in C , l'altra la forma di una scure col taglio T foggiate a curva piana. Nel piano di questa curva giace pure la punta C .

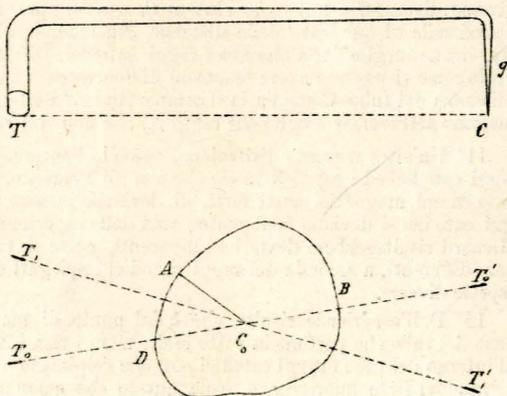


Fig. 24.

Per misurare con questo strumento l'area di una figura ABD si segna nell'interno di essa il punto C_0 che, a vista, si giudichi essere il centro di gravità dell'area, lo si unisce con una retta ad un punto qualunque A del perimetro; indi, tenendo il gambo g del planimetro fra il pollice e l'indice, e cercando solo di mantenere lo strumento in un piano verticale, lasciando, cioè, che il movimento sia guidato dal taglio della scure, si fa percorrere alla punta C prima la retta C_0A , poi il perimetro $ABDA$, e infine la retta AC_0 , ritornando così al punto di partenza. Alla partenza ed all'arrivo si preme leggermente la testa della scure dall'alto al basso in modo da segnare sulla carta le impronte T_0 e T_1 del taglio, e si misura, con un doppio decimetro, la distanza a delle due impronte. Si ripete un'altra volta l'operazione dando al planimetro un orientamento iniziale C_0T_0' diametralmente opposto (sempre giudicando a vista) all'orientamento primitivo, e si misura la distanza a' fra le impronte T_0' e T_1' ottenute in questa seconda misura. La media delle distanze a, a' , moltiplicata per la lunghezza TC del planimetro, dà, con un'approssimazione sufficiente per molti casi della pratica, l'area della figura.

L'egregio ing. Maffiotti, dopo avere svolte alcune considerazioni geometriche, colle quali, anche chi non abbia alcuna familiarità col calcolo infinitesimale, può darsi, in modo grossolano, ragione del come lo strumento possa rispondere al suo scopo, passa a determinare analiticamente (seguendo la teoria esposta da F. W. Hill nel *Philosophical Magazine*, vol. 38, settembre 1894) la deviazione subita dall'asta quando il calcolio percorre il perimetro di una figura nel modo più sopra indicato, ed arriva alla espressione definitiva seguente dell'area S della figura:

$$S = c \frac{a + a'}{2} - \frac{m}{2c^2},$$

nella quale a ed a' sono le due distanze misurate come sopra si disse, c è la lunghezza CT del planimetro, ed m è il momento di inerzia dell'area S rispetto al punto C_0 .

Da questa espressione risulta che la regola su enunciata per avere l'area della figura è soltanto approssimata e conduce ad un valore dell'area più grande del vero, poichè il termine di correzione è sempre negativo. Questo termine è trascurabile quando la figura abbia dimensioni assai piccole in confronto di c , ad esempio quando il raggio massimo condotto da C_0 al perimetro, non superi il quinto circa della lunghezza c del planimetro.

In caso diverso si dovrebbe tener conto del termine di correzione, valutando m per approssimazione, ovvero dividere la figura in due o più parti, e misurare ciascuna di esse separatamente.

Il momento d'inerzia m è minimo se riferito al centro di gravità; ed è per ciò che questo punto dev'essere scelto, a preferenza di un altro, come punto di partenza del calcolio. Basterà però che la scelta sia fatta a vista.

Del resto l'unica condizione, alla quale il planimetro Prytz deve rigorosamente soddisfare è quella di avere la curva del taglio ben simmetrica rispetto al suo asse verticale, ed essenzialmente ben piana.

Per dare un'idea concreta dell'approssimazione che si può raggiungere col planimetro Prytz, l'ing. Maffiotti riferisce i risultati di alcune misure fatte con planimetri di lunghezza $c = 250$ mm.

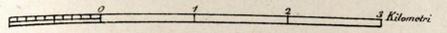
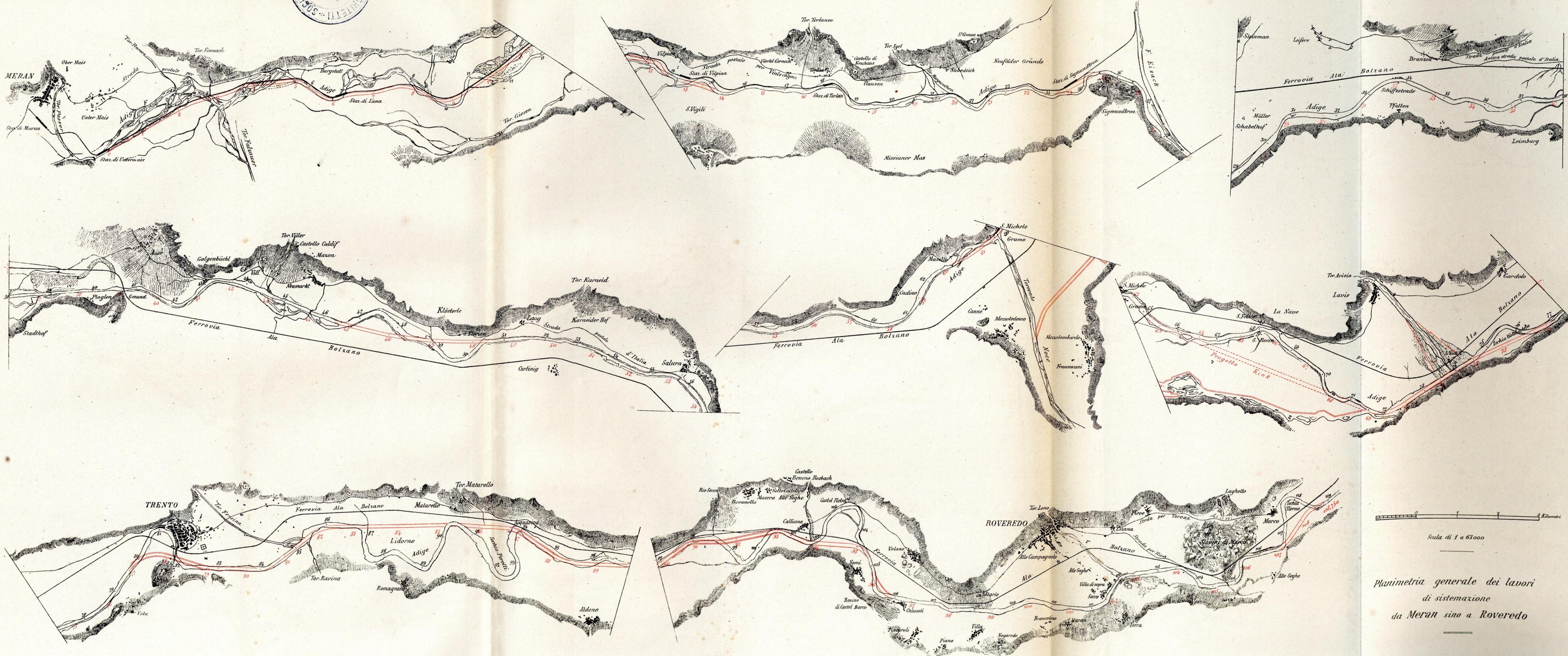
Per ogni figura si sono eseguite due serie di misure: la prima movendo il calcolio nel senso degli indici di un orologio (movimento destrorso), la seconda in senso inverso (movimento sinistrorso).

Le misure fatte con movimento destrorso e quelle fatte con movimento sinistrorso hanno dato risultati alquanto diversi fra loro. L'errore medio nel movimento destrorso ha variato fra 0,36 e 1,16 per cento, nel movimento sinistrorso fra 0,28 e 0,70 per cento. Si può, ad ogni modo, inferire che, per figure aventi un'area compresa fra i limiti di 0,4 e 0,8 decimetri quadrati, l'errore è inferiore all'uno per cento. Ma l'errore sarebbe maggiore dell'uno per cento se si trascurasse il termine di correzione.

Non occorre quindi di aggiungere che l'impiego del planimetro Prytz, in confronto ai planimetri ordinari, dà luogo a minore precisione, e richiede maggior tempo per la misura di un'area. Ma un planimetro Prytz non costa che 4 lire, può essere fabbricato da qualunque meccanico, e conservato indefinitamente senza bisogno di verifiche e rettifiche successive.

Epperò se il medesimo non potrà sostituire gli ordinari planimetri più perfezionati in tutti quei casi nei quali si tratta di calcolare migliaia e migliaia di aree, perchè allora l'economia di spesa nell'acquisto dello strumento sarebbe presto compensata dal maggior tempo e dal maggior costo dell'operazione di misura, sarà invece il planimetro più indicato per i professionisti privati e per quegli uffici tecnici che devono solo di tanto in tanto procedere a qualche calcolo di area e non hanno bisogno di raggiungere nella misura una grande precisione.

G. S.



Scala di 1 a 63000

Planimetria generale dei lavori di sistemazione da Meran sino a Roveredo

Fig. 1. — Valle del Fersina. - Topografia a monte della serra di Cantanghel.

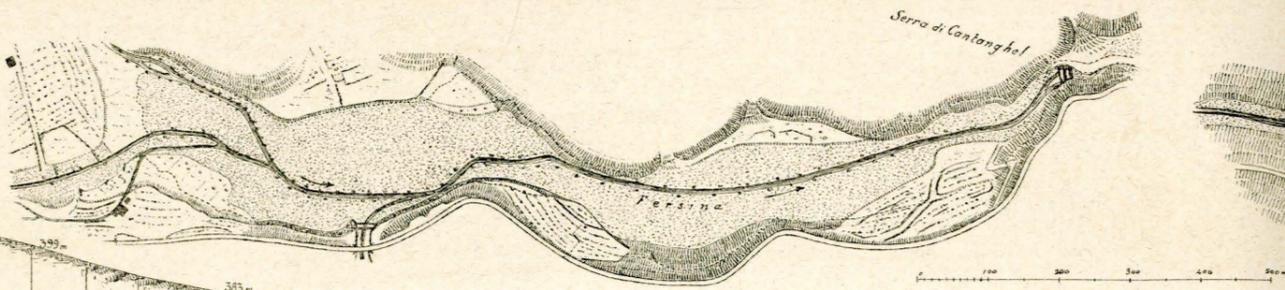


Fig. 2. — Topografia delle serre di Pontalto e Madruzzo.

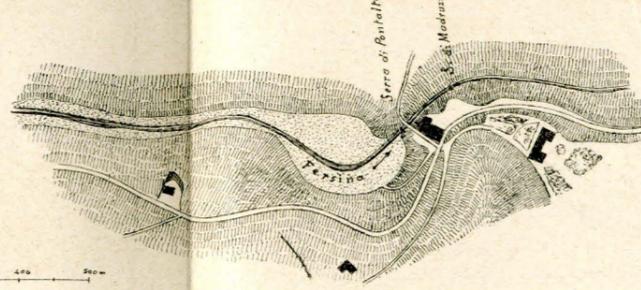


Fig. 4. — Sezione longitudinale tra la serra di Pontalto e quella di Madruzzo

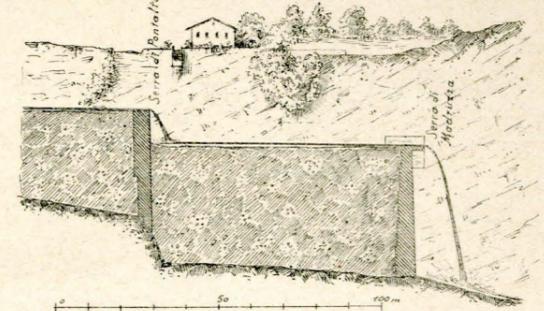


Fig. 3. — Profilo longitudinale della Valle del Fersina e relative serre.

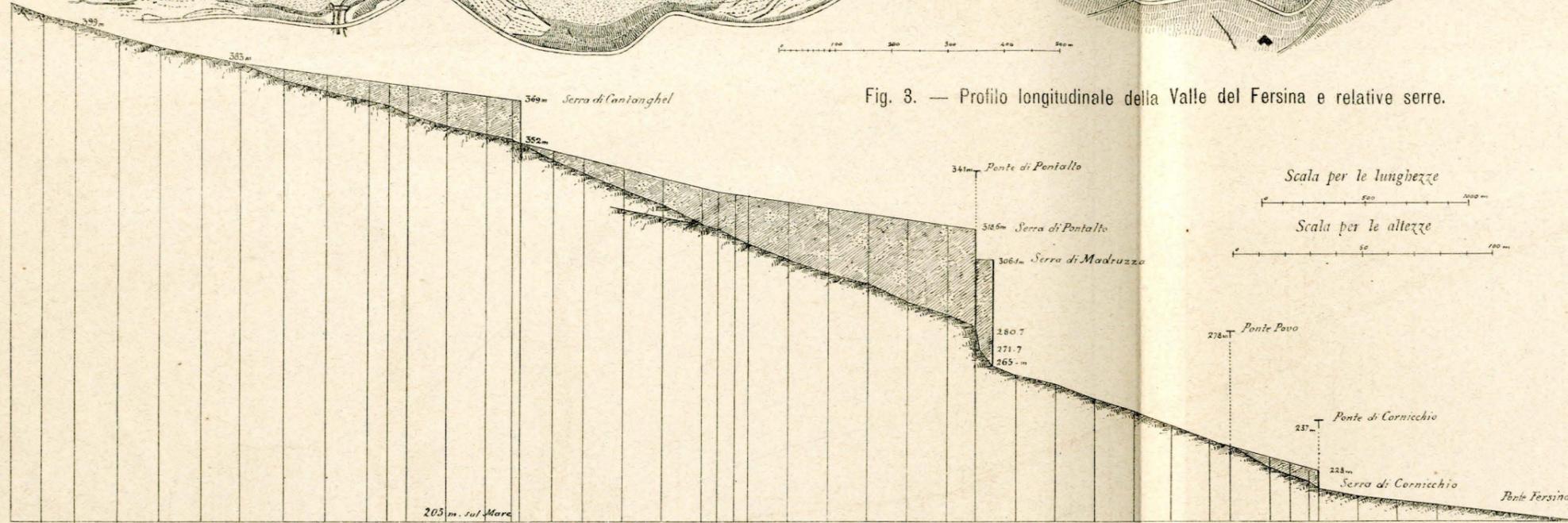


Fig. 7 a 10. — Serra di Pontalto: Prospetto a valle, sezione trasversale e piante.

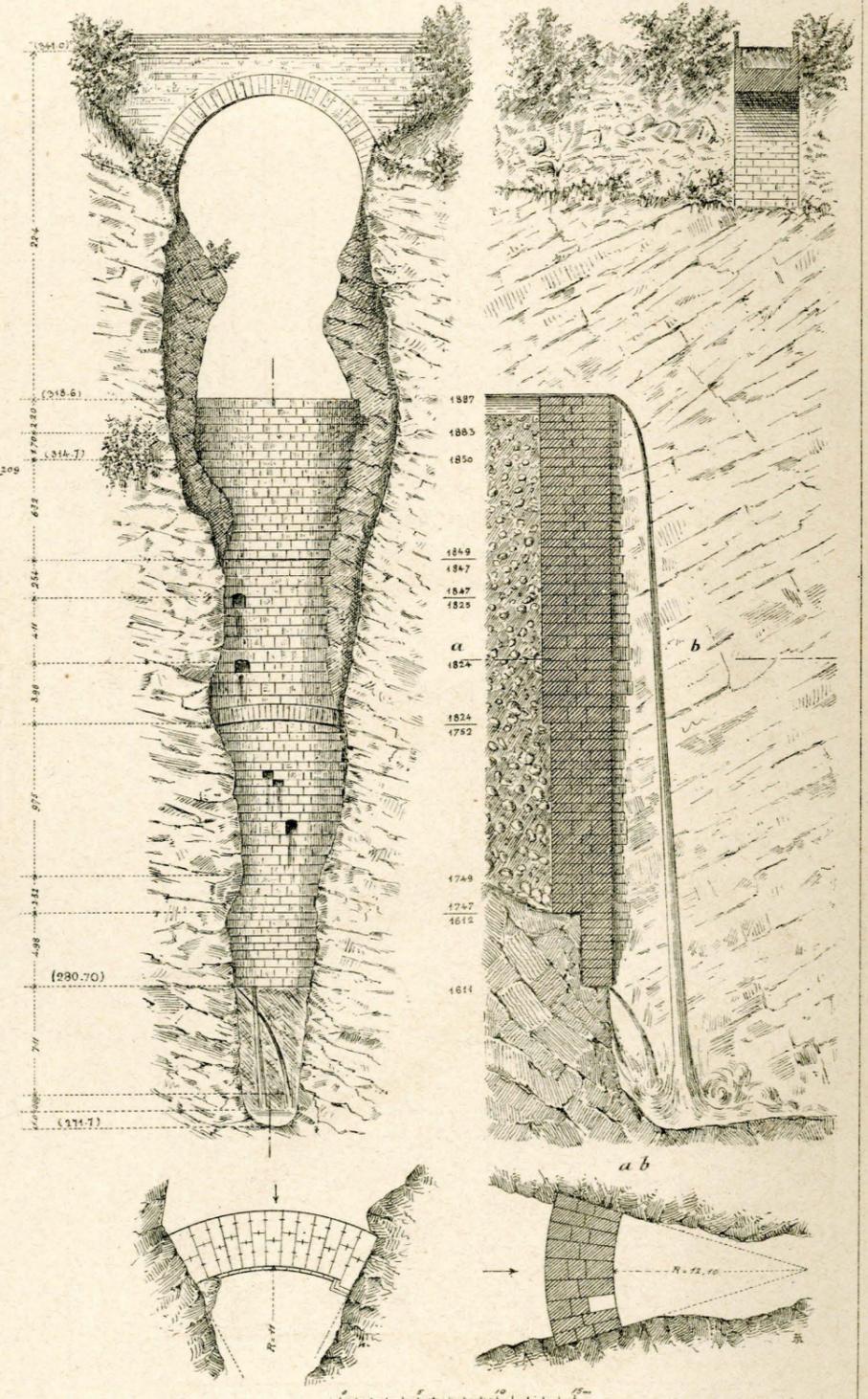


Fig. 5 e 6. — Serra di Cantanghel: Planimetria e sezione trasversale.

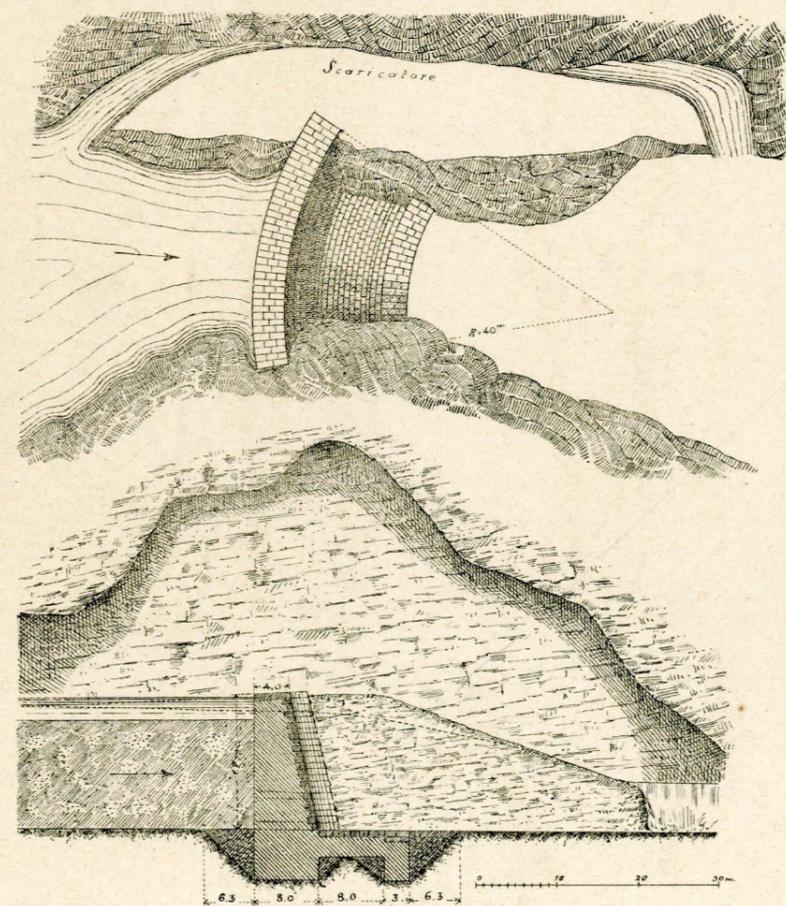


Fig. 11 a 15. — Serra Madruzzo: Prospetto a valle, sezione trasversale e piante.

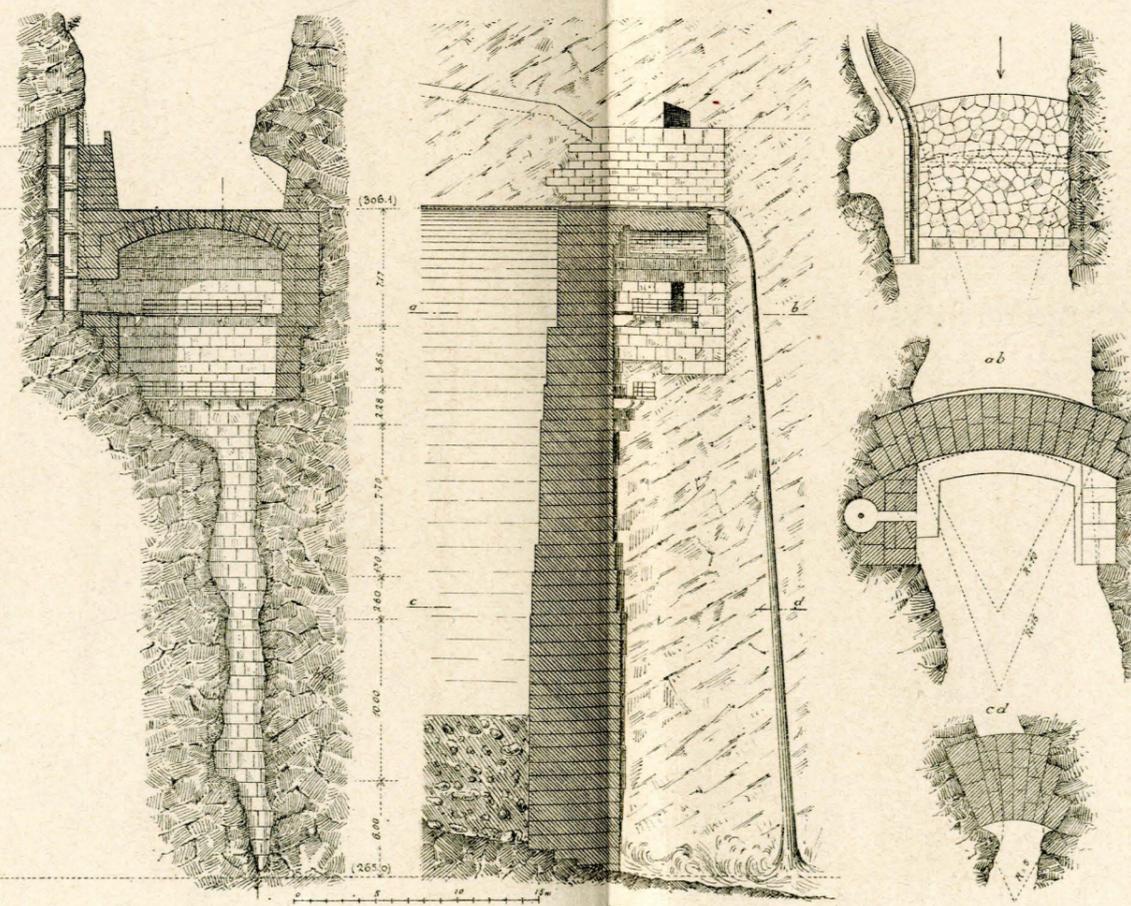


Fig. 1 a 6. — Ricostruzione della serra di S. Giorgio.

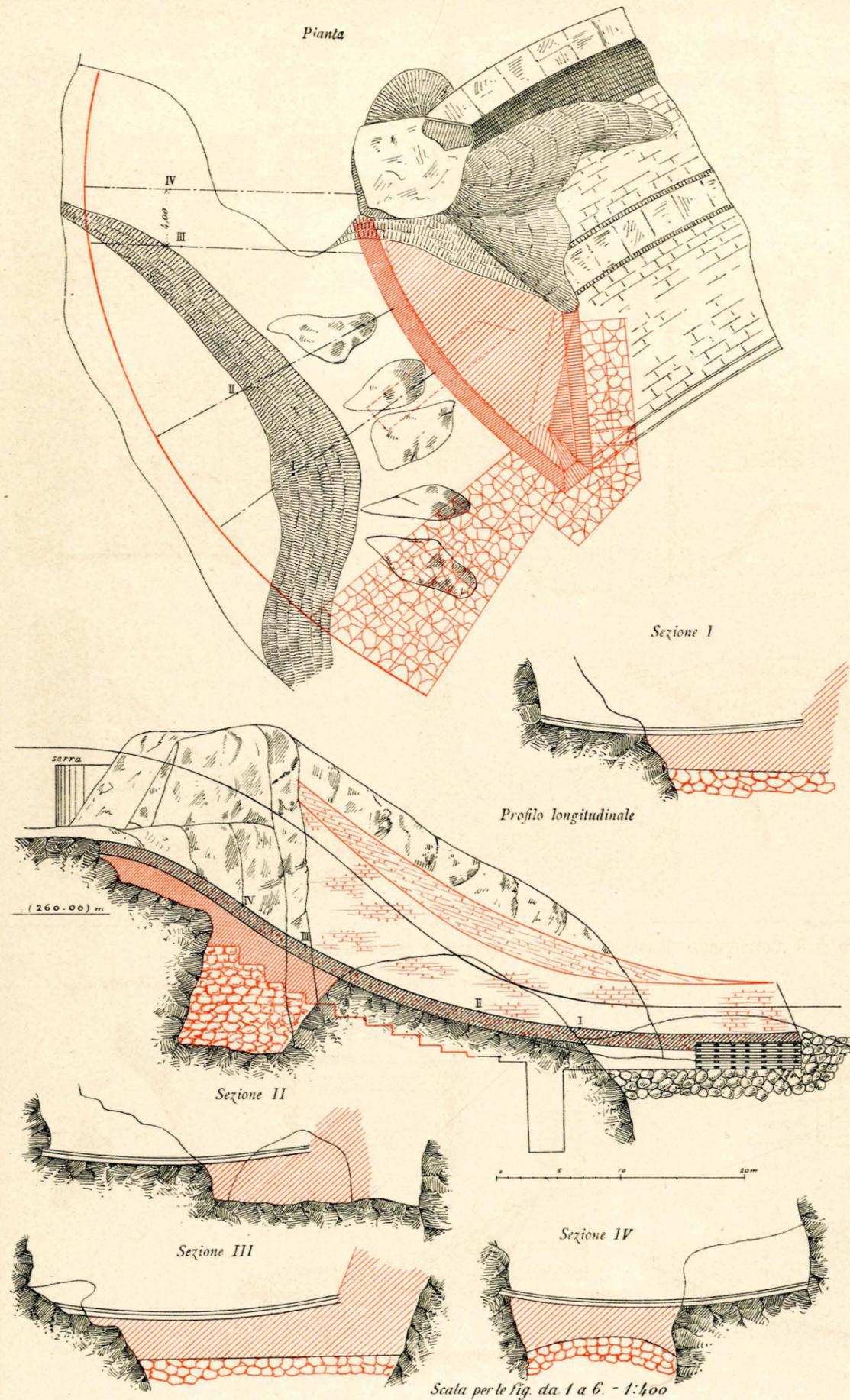


Fig. 7 a 14. — Serra di Terragnolo. - Planimetria, spaccati e prospetto. Sezioni del canale scaricatore.

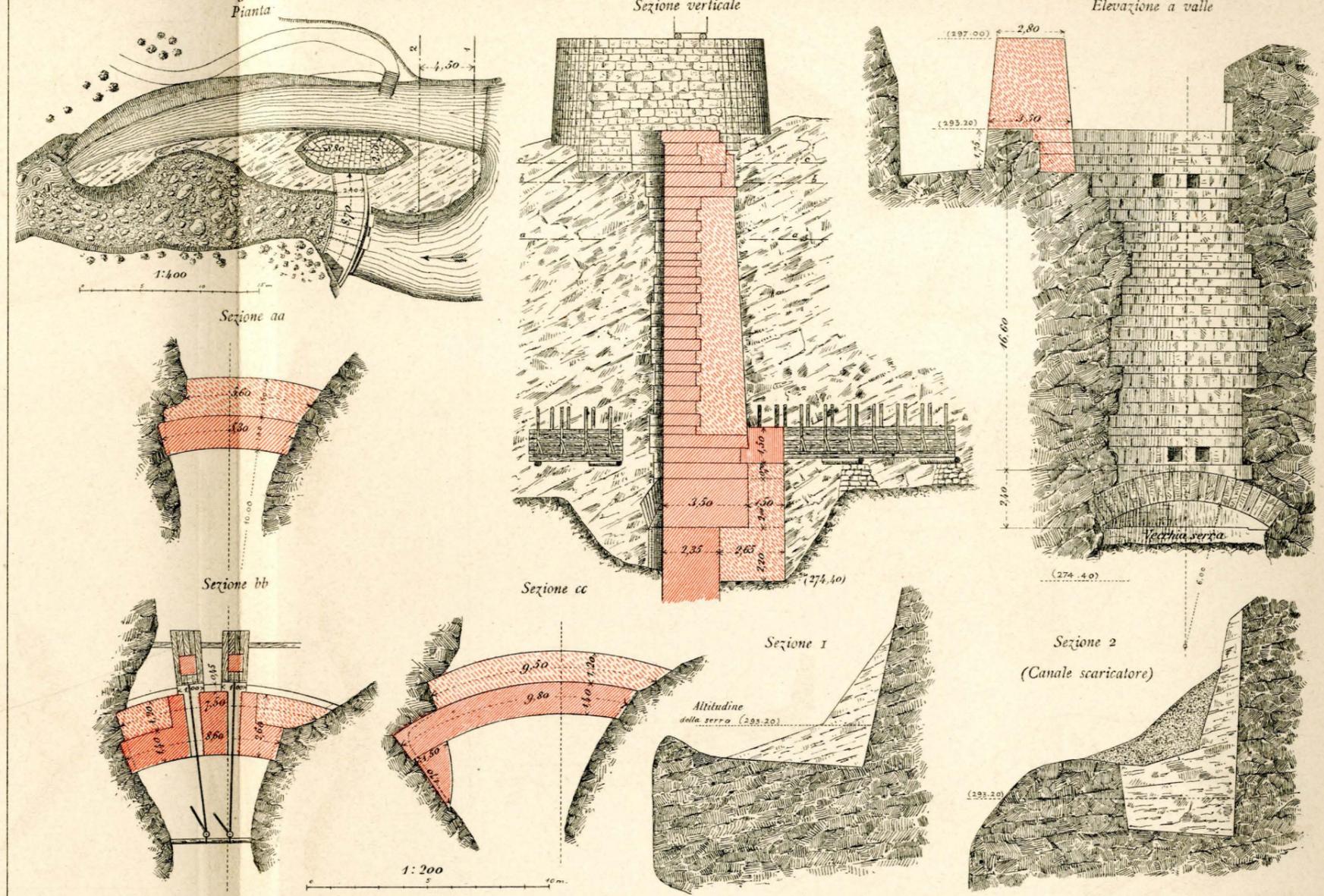


Fig. 15 a 18. — Serra di S. Colombano. - Planimetria, sezione verticale e canali deviatori.

