

L'INGEGNERIA CIVILE

B

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

I LAVORI PUBBLICI NEL CANTONE DI VAUD

IV. — LA GRYPONNE.

Gli affluenti del Rodano sulla riva vodese non sono numerosi, anzi quelli che meritano di essere menzionati si riducono a tre: l'Avançon nelle vicinanze di Bex; la Gryonne poco più a valle e la Grande-Eau presso Aigle; gli altri: le due Moneresses du Cloître e du Bourg non sono che canali derivati, e la Toile non ha importanza; il Bey e l'Eau froide, vanno direttamente a sboccare nel lago e non presentano alcunché di speciale.

La correzione degli affluenti non dipende da un progetto generale d'insieme della sistemazione del bacino del Rodano, il quale non fu mai compilato, ma venne eseguita separatamente. Allo stesso modo che lo Stato per lungo tempo aveva lasciato i Comuni e i privati a lottare col corso principale, così anche per gli affluenti i comuni e i privati furono fino al 1870 abbandonati a sè stessi, e dovettero difendersi contro la selvaggia violenza dei medesimi colle proprie forze.

I lavori più importanti furono eseguiti sulla Gryonne, e l'ing. Edouard Payot ne dà una bella relazione nel *Mémorial des travaux publics*; coll'aiuto della medesima e valendoci di altre notizie attinte da noi stessi sopralluogo, procureremo di dare ai lettori dell'*Ingegneria* una descrizione sommaria, ma completa.

La Gryonne è un corso d'acqua a regimespaccatamente torrentiale; diverse circostanze concorrono a render questa sua natura ancora più caratteristica. Il suo bacino imbrifero non ha che una estensione di 36 km. q. ed è orientato verso sud-ovest; circoscritto dalla catena di Chamossaire, dalla Croce di Arpille e dalle Diablerets, in modo che non vi si possono formare dei ghiacciai e che le acque che vi piovono, vengono immediatamente concentrate nell'alveo della Gryonne e da essa integralmente smaltite. Il bacino è quasi nudo, le poche macchie esistenti qua e là, in maggior numero sulla destra del torrente, non sono sufficienti a moderare lo scolo delle acque, facilitato ancora più dalla rapidità delle pendici; le nevi poi, per effetto dell'orientazione del bacino, si fondono tutte contemporaneamente, e con molta rapidità. Laonde il torrente non ha una portata media continua, ma trovasi quasi costantemente in magra; all'epoca dello scioglimento delle nevi entra in piena abbastanza forte, la quale però non ha che una breve durata; bastano spesso solo otto giorni a fare scomparire tutta la neve, dopodiché il torrente ritorna rapidamente in magra. Quando avvengono dei forti temporali con piogge intense, il bacino non ritenendo le acque, la Gryonne entra in piena fortissima e brevissima.

Queste piene nerastre, di breve durata portano la desolazione e la ruina sui terreni circostanti; la rapidità con cui si manifestano le rende ancora più terribili; la gran quantità di materiali che le acque trasportano, pietre, legname, ghiaia, fa sì che i danni che producono sono sempre assai considerevoli. Le acque straripate si spingono fino alle stazioni di Saint-Triphon sulla destra a due chilometri di distanza e a quella di Bex sulla sinistra a circa due chilometri e mezzo. Il loro straripamento avviene di solito per effetto delle grandi masse di materiali convogliate, le quali formando di tratto in tratto dei depositi, ostruiscono l'alveo e agiscono come pennelli contro la corrente, obbligandola ad aprirsi delle rotte lateralmente;

invece quando la corrente arriva a sormontare i depositi, il livello delle acque raggiunge altezze enormi e precipitando dalla parte opposta, la corrente devia, trasborda, asportando gran parte dei depositi stessi.

Il maggior numero di materiali viene fornito dalle così dette *ruvines*, che sono spaccature nel terreno, più o meno perpendicolari al fondo della vallata dove scorre la Gryonne, e dalle quali si staccano per l'azione degli agenti atmosferici dei massi e delle quantità enormi di ghiaia, fango ed altro che vanno ad alimentare l'alveo del torrente.

I comuni e i proprietari costruirono qua e là degli argini di difesa, ma deboli, mal distribuiti e senza relazione col regime del torrente, per cui di poca o nessuna efficacia. Questo stato di cose coll'andare del tempo finì per divenire intollerabile, cosicché, dopo le terribili inondazioni del 1870, lo Stato si decise di venire in soccorso dei comuni.

Il signor E. Payot per stabilire la portata delle massime piene calcola le varie portate del torrente corrispondenti alle altezze d'acqua in millimetri che cade in 24 ore sul bacino; in tal calcolo ammette che tutta l'acqua venga smaltita immediatamente, senza tenere alcun conto di quella che il bacino può assorbire; conviene che all'epoca in cui i fieni sono ancora in piedi, essi esercitano un'azione regolatrice sul regime idraulico, ma aggiunge che dopo qualche tempo la saturazione è completa ed allora tutte le acque si smaltiscono integralmente.

Noi, dalla visita fatta del bacino, la cui natura geologica riconoscemmo costituita dal fisch (arenaceo-marnoso), intercalato fra banchi di calcare schistoso, da enormi depositi glaciali, corniola, gesso e lias, riteniamo che si possa ammettere un coefficiente di disperdimento, poichè una certa quantità dell'acqua caduta penetra nei terreni suddetti, specialmente poi nell'altipiano d'Arveye, e che poca altra si evapora. Senza volerci provare a stabilire tale coefficiente, per non avere gli elementi necessari, riteniamo però che la portata massima di 50 mc. ammessa dall'ingegnere Payot, e corrispondente, secondo lui, ad un'altezza di pioggia di 124 mm., possa riguardarsi come ammissibile anche per altezze maggiori di pioggia; senza che si debba preoccuparsi di un aumento della medesima.

Infatti nelle piene del 31 ottobre 1870 e del 2 settembre 1873, che sono le maggiori a memoria d'uomo, non si è riscontrato che una portata di 40 mc.

La necessità di correggere la Gryonne era impellente, poichè se si avesse dovuto aspettare che il suo letto arrivasse naturalmente al profilo di compensazione, sarebbe occorso uno spazio di tempo lunghissimo e non possibile a determinarsi, durante il quale avrebbe trasportato una quantità enorme di materiali a totale detrimento dei terreni circostanti. Tutti i torrenti tendono a crearsi un letto con profilo di compensazione, ma prima di raggiungerlo hanno bisogno di un tempo lunghissimo, donde la necessità di venire loro in aiuto. Vedremo in seguito come l'Avançon, altro influente del Rodano, si trovi già arrivato a questo punto e non abbia più bisogno della mano dell'uomo.

La Gryonne ha una lunghezza di 15 km. circa, e si divide in due parti distinte, l'alta e la bassa Gryonne. La prima presenta due tronchi con pendenze diverse, l'uno dall'origine fino a 5614 metri con una pendenza media del 5,3 0/0; l'altro per 4304 metri, ossia fino alla confluenza della Petite-Gryonne nelle vicinanze di Bouillet; ha pendenze massime variabili da 10 a 21 0/0 con una media di 13,20 0/0. La Bassa Gryonne poi per una lunghezza di 5000 metri circa non offre più che

pendenze dall'1,5 0/0 all'8 0/0, e in media 4,6 0/0, e va a terminare nel Rodano, dopo di avere attraversato la strada da Losanna a St. Maurice e la ferrovia del Sempione.

La parte più alta del torrente si troverebbe in condizioni relativamente buone, se una quantità di alberi abbattuti, tronchi, radici e simili caduti dai boschi laterali o convogliati dalle acque che provengono dalle foreste superiori, non ingombrasse il suo letto e non contribuisse ad accrescere le torbide delle sue piene. Il secondo tronco invece, è quello dove ha luogo il maggior lavoro di erosione e di raccolta di materiali, e dove, per la considerevole pendenza del letto, le acque assumono una velocità ed una veemenza fatale alle sponde e disastrosa per la Bassa Gryonne, che incomincia appunto col cono di deiezione sul quale vengono a depositarsi i nuovi materiali. Questi rialzano ad ogni piena il letto e lo ostruiscono obbligando le acque a straripare lateralmente insieme al resto dei materiali che trasportano.

Queste condizioni sono presso a poco quelle di tutti i torrenti, la Gryonne offre però qualche particolarità alla quale vogliamo brevemente accennare. Il letto è generalmente consistente o in causa del terreno roccioso che lo costituisce, o pei grossi macigni che lo ricoprono formando quasi selciato. Tale resistenza, che a lungo andare non persiste, come vedremo, fa sì che nelle grandi piene, là dove si formano dei depositi temporanei, le acque si gettano o verso l'una o verso l'altra sponda e la corrodono rapidamente allargando il letto di alcuni metri; ma poi la corrosione laterale si arresta e continua invece verticalmente, cosicchè in breve tempo il torrente ha abbandonato il suo letto naturale coi depositi che vi erano, e si è creato un letto laterale e più profondo, in alcuni siti fino a 4 e 5 metri. In causa della natura geologica del terreno, che offre alternativamente dei banchi di calcare schistoso (lias) e di fisch (schisti neri) friabilissimi, e dove questi mancano apparisce la formazione gessosa facilmente attaccabile dall'acqua. avviene spesso che nel nuovo letto le acque non potendo approfondirsi maggiormente per l'andamento del profilo longitudinale a valle, corrodono lateralmente, di solito dalla parte opposta del letto primitivo, ma talvolta anche sotto questo. E' ovvio poi che il terreno superiore così scalfato, frana; specialmente la sponda, dove si producono degli smottamenti e non rare volte delle frane di grande estensione. Queste non solo alimentano il trasporto di materiali a valle, ma scacciano il torrente dal letto che si è creato, e l'obbligano a portarsi contro la sponda opposta, dove si ripetono gli stessi fenomeni. E così la Gryonne, oltre alla tendenza ad approfondire il proprio letto, ha quella pure di un andamento serpentino nel suo alveo, fenomeno più o meno comune ad altri torrenti.

Abbiamo accennato alla natura dei terreni nei quali scorre l'Alta Gryonne; gli strati rocciosi che si trovano di tratto in tratto presentano una certa resistenza all'erosione; e il terreno intermedio, benchè più tenero e friabile, quando il letto ha raggiunto una pendenza limite, non viene più attaccato dalle acque e si mantiene. Le acque non cessano però il loro lavoro e lo concentrano sui banchi rocciosi, dove la pendenza è rimasta considerevole e che a guisa di soglie attraversano l'alveo. Ma a lungo andare anche la roccia non resiste, e così si formano delle cascatelle, la roccia si assottiglia, poi si stacca e allora il tratto intermedio a pendenza regolare e terreno tenero, non trovando più l'appoggio contro la soglia inferiore, viene rapidamente asportato, fino a che si raggiunge il piano determinato dalla roccia rimasta, che riprende la sua funzione di soglia.

E' evidente poi che prima che avvenga questo asportamento, per la poca pendenza che il letto presenta, vi si formano con facilità dei depositi, i quali obbligano il torrente a prendere degli andamenti sinuosi.

Tutto questo lavoro tende a raggiungere il profilo di compensazione; siccome però la Gryonne ha una portata ordinaria minima, non dispone sempre di acqua sufficiente per agire; e così l'epoca in cui, abbandonata a se stessa, arriverebbe ad avere un regime normale non è prevedibile, ma certamente assai lontana.

Aggiungasi poi che il suo percorso contiene un'infinità di massi erratici provenienti dal nucleo delle Diablerets e dal grande ghiacciaio del Rodano che ha versato una parte delle

sue morene nel bacino della Gryonne; i quali forniscono materiali senza numero ai depositi delle sue piene sulla parte bassa, e si conchiuderà che la correzione del torrente è una vera necessità impellente, come si è detto più sopra.

E infatti le conseguenze di un regime così disordinato della Gryonne divenivano insopportabili; la maggior parte dei terreni che la avvicinavano avevano perduto il loro valore, quelli sul cono di deiezione e terreni alluvionali nella pianura, i 5/6 del loro valore; molti non venivano più nemmeno coltivati. In montagna delle proprietà intere più non esistevano, altre avevano preso il loro posto avvicinandosi al torrente. Queste condizioni rendevano impossibile la ripartizione delle spese di correzione fra gli interessati, poichè la maggior parte preferiva di abbandonare il terreno piuttosto che concorrere nella spesa di un lavoro, nel quale in quel momento si aveva nemmeno fiducia. A diminuire poi ancora più questa fiducia, concorse potentemente un primo disastro.

Infatti all'origine del risveglio avvenuto dopo la inondazione del 1870, regnava molta incertezza sul sistema di correzione da seguire; siccome il male veniva specialmente dai materiali che le piene portavano, si concluse che il miglior rimedio sarebbe quello di ritenerli; a tale scopo venne costruita una serra a Bouillet nella parte superiore del cono di deiezione presso la confluenza della piccola Gryonne; con essa si veniva a creare un bacino di ritenuta abbastanza esteso, che si supponeva richiedere molti anni per riempirsi; ma non fu così, in pochi mesi il bacino si trovò colmo e nella piena del 2 settembre 1873 la serra fu asportata e i materiali ritenuti dietro di essa, si riversarono nella pianura sottostante apportando dovunque la desolazione. Quest'opera aveva costato 28000 lire.

Allora si comprese che il vero rimedio doveva applicarsi nella parte alta della Gryonne, coll'impedire la raccolta dei materiali e conseguentemente la corrosione delle sponde e del letto. I comuni, comprendendo l'impossibilità di fare sopportare le spese ai soli proprietari di terreni danneggiati, decisero di concorrere con contributo comunale, come avevano già fatto per la sistemazione del Rodano e così fu possibile costituire il capitale necessario al lavoro.

Siccome il tempo incalzava e non permetteva di redigere un progetto completo d'insieme col quale si avrebbe potuto chiedere un sussidio conveniente anche alla Confederazione, si convenne di determinare un primo credito di L. 150 000, limitando a 50 000 lire il sussidio federale, il massimo di competenza del Consiglio federale senza l'intervento della Camera. In tal modo la ripartizione venne fatta come segue:

alla Confederazione	L. 50 000
allo Stato di Vaud	» 40 000
alla Società della strada ferrata	» 10 000
e il resto ai Comuni di Ollon	» 25 000
di Bex	» 21 428
e di Gryon	» 3 572

ossia in complesso L. 150 000.

Notisi poi che il contributo dei comuni veniva in gran parte diminuito dal concorso dello Stato di Vaud quale proprietario di molti terreni situati nei territori dei comuni stessi.

I lavori furono iniziati il 28 novembre 1878 nell'Alta Gryonne, e precisamente nel punto dove avviene il cambiamento di pendenza fra il tronco meno inclinato e quello maggiormente attaccato dalla violenza del torrente, costruendovi una serra di legname e muratura. Da quanto abbiamo già esposto si può a priori giudicare che la località non poteva essere meglio scelta. Infatti, se da una parte la serra in quel punto giovava per trattenere i materiali che ingombravano il tronco superiore e che per la leggera velocità con cui si muovono anche un piccolo riparo sarebbe stato sufficiente al loro arresto, dall'altra si impediva che la corrosione dell'alveo e lo approfondimento del letto, piaga principale del tronco inferiore, continuasse ad estendersi nel tronco superiore.

Il risultato corrispose alle aspettative, ciò che incoraggiò a continuare nei lavori progettati; e così coi fondi disponibili di cui si disse più sopra, si lavorò fino al 1888 costruendo 19 serre e 2400 metri di arginatura longitudinale ed eseguendo

molti lavori di sgombrò, per liberare il torrente da depositi nocivi, e di abbattimento per allontanare quelle punte delle sue sponde, che agivano come speroni; il tutto nel primo tratto del secondo tronco a partire dalla prima serra di legno sopra menzionata, e cioè per due terzi circa della lunghezza.

Non è necessario dire che durante i lavori, la cui durata fu di circa 10 anni, essi vennero dalle piene del torrente spesse volte interrotti; ciò nullameno fu possibile condurli a buon fine, e l'efficacia loro fu immediatamente sensibile; i materiali trasportati dalle acque avevano considerevolmente diminuito, in particolar modo quelli più voluminosi; gli accumulamenti di legname non si verificavano più, e i burroni, il cui piede era stato difeso, cominciarono a consolidarsi assumendo le loro pendici una inclinazione naturale sulla quale la vegetazione arborea non tardò a mettere radice. Questi risultati mantennero non solo viva la fede negli interessati, ma fecero concepire nuove speranze e si rivolse l'animo anche alla correzione della Bassa Gryonne, ossia al tratto scorrente sul cono di deiezione.

Mentre si era ancora incerti sul sistema da adottare in questa parte del torrente, egli stesso ne indicava la via. Infatti la forte pendenza del letto nel terreno alluvionale faceva sì che il deposito dei materiali sopra il cono di deiezione, trasportati in quantità enorme dalle piene, avveniva cominciando dai più voluminosi che si fermavano al principio sulla sommità del cono, poi dagli altri successivamente poco più sotto e via via fino alla parte piana, diminuendo sempre di volume man mano che si discendeva. I lavori eseguiti nell'Alta Gryonne fecero sì che le piene trasportavano una quantità di materiali assai minore, per cui le acque più libere di agire appena arrivate sulla sommità del cono, vi esercitavano la loro azione escavatrice, asportando i materiali che vi si trovavano per depositarli più sotto; allora si decise di arginare la parte bassa del torrente e di diminuire opportunamente le pendenze dove erano eccessive, allo scopo di sopprimere l'escavazione del letto e il trasporto dei depositi dall'alto al basso.

Si compilò il progetto relativo, intanto che procedevano i lavori nell'Alta Gryonne, e per la sua esecuzione con decreto del 16 maggio 1882 si misero a disposizione della Commissione esecutiva 300 000 lire. Nel 1888 i fondi si trovarono esauriti, mentre vi erano perizie supplementari che richiedevano altre

170 000 lire per l'Alta Gryonne, e
180 000 lire per la Bassa Gryonne; in

totale 350 000 lire;

e in complesso con la somma votata nel 1882 L. 650 000.

Il Governo federale contribuì con un sussidio di 240 000 lire; lo Stato di Vaud con L. 164 000, la Società delle ferrovie della Svizzera occidentale, poi Sempione, con L. 41 000 e finalmente: il Comune di Ollon con L. 102 500, e quelli di Bex e di Gryon insieme con lo Stato di Vaud qual proprietario di molte foreste nel territorio dei Comuni medesimi, per le altre L. 102 500.

I lavori furono spinti alacramente e nel 1891 si trovarono, se non ultimati, per lo meno esaurite le somme stanziato. Le opere eseguite risultano dallo specchio seguente:

Designazione dei tratti	Lungh. dei tratti	Serre	Soglie	Arginatura	Intervallo medio fra le serre	Argini per m. l. di torrente
	metri	numero	numero	metri	metri	metri
Dall'origine a monte fino ad Arveye . . .	5614	6	2	810	935	0,14
Da Arveye a Sorépont . . .	590	9	2	750	65,50	1,27
Da Sorépont a Fondement . .	1830	21	1	1670	87	0,91
Da Fondement al confluente della Piccola-Gryonne . . .	1884	9	1	997	209	0,53
	9918	45	6	4227		

E' naturale che gli intervalli medi indicati nello specchio non sono reali, poichè le serre si trovano disposte non a distanze regolari fra loro, ma secondo il bisogno; infatti ve ne sono che non hanno più di 10 metri di intervallo; mentre altre sono abbastanza distanti l'una dall'altra, specialmente nei punti dove il terreno offre un letto stabile e non presenta corrosioni, oppure se queste vi sono, si limitano alle ripe. In tali casi si procedè a rimettere il torrente nel suo letto naturale, rinserrandolo per impedirgli di riprendere la corrosione laterale; così non può escavare il suo letto nel quale i massi che vi si trovano, contribuiscono a formare tante cascatelle, sulle quali l'acqua perde la sua velocità e perciò questi tratti, anche con pendenze considerevoli, poterono conservarsi. Nelle altre parti, invece, dove si costruirono le serre, la pendenza si è dovuta ridurre dappertutto all'1 e tutt'al più al 2 0/0.

Le serre impiegate nella correzione della Gryonne sono di due specie, di legname e di muratura; le prime però non sono esclusivamente di legname, ma costituite da travi rivestite di corteccia aventi un diametro da m. 0,20 a 0,40 e disposte in modo da formare dei quadrati di m. 2 di lato che vengono riempiti di pietrame. Meglio di qualunque descrizione varranno le fig. 27, 28, 29 e 30, che ricaviamo dalla bella Memoria del signor Payot e che rappresentano il tipo ultimo adottato, a dare un'idea esatta della loro costruzione.



Fig. 27.

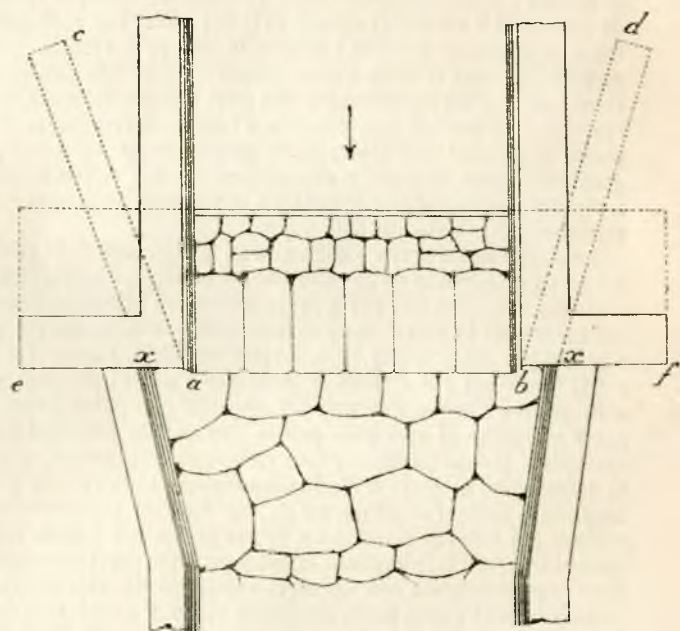


Fig. 28.

A prima vista questo tipo sembra che non abbia la stabilità voluta per mancanza di qualsiasi palo infitto nel sottosuolo, che ne assicuri l'immobilità, ma nella pratica poi non è così; gli strati di legname sovrapposti cogli intervalli riempiti di materiale, pel proprio peso offrono una resistenza più che sufficiente alle spinte cui si trovano esposti, anzi in origine si provò di rilegarli al suolo con pali infitti, e le prime 8 serre furono eseguite in questo modo; ma ben presto si ab-

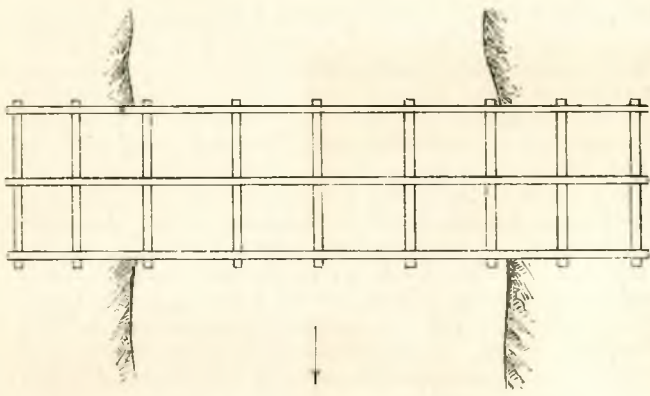


Fig. 29.

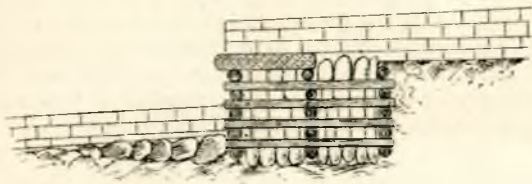


Fig. 30.

bandonò tale sistema per le difficoltà che offriva l'infissione dei pali, e le serre non ebbero menomamente a soffrire.

Si credette pure conveniente di costruire dinanzi la serra una platea costituita da pali infitti profondamente, rilegati da un graticciato riempito di grossi massi; con ciò si mirava ad evitare ogni escavazione per effetto della caduta delle acque. Ma il risultato non corrispose alle speranze, la maggior parte di queste platee fu distrutta dalla violenza delle acque cadenti da altezze di 3 a 4 metri e dagli urti dei massi che esse portavano. Aggiungasi poi che l'infissione dei pali riusciva assai difficile, perchè il letto è generalmente costituito subalveamente per una certa profondità di grossi massi o di roccia, dove riusciva impossibile fare penetrare i pali con regolarità. Alle platee si sostituirono allora delle gettate di grossi massi, le quali obbligano le acque a precipitarsi sopra essi dando luogo a piccole cascatelle che annullano la violenza dell'urto e diminuiscono la velocità dell'acqua.

La soglia della serra è costruita in grossi massi di pietra coi quali il legname viene interamente coperto, come si scorge dalle fig. 27, 28 e 30; nella parte posteriore in continuazione dei medesimi le pietre sono di minori dimensioni, ma lunghe e messe per coltello (fig. 30). Lateralmente si hanno (fig. 27 e 28) due muri d'ala, pure in pietrame a secco; servono per concentrare l'acqua nell'asse ed impedir che possa girare la serra ed anche di raccordo per le arginature longitudinali. Quando il tronco superiore non richiedeva arginature, allora si è assegnato ai muri d'ala la disposizione indicata con punteggiature nella fig. 28 *ac* e *bd*; sul davanti poi occorrono sempre dei muri di risvolto *ae*, *bf* per assicurare il tutto nelle sponde laterali. Il riempimento dei vani fra le travi deve essere fatto regolarmente e con un certo assestamento, allo scopo di impedire che l'acqua possa asportare i singoli massi. Inferiormente alla serra si costruiscono pure dei muri d'ala che vanno a raccordarsi cogli argini longitudinali se sono necessari, diversamente si limitano ad un brevissimo tratto.

Non si è messo alcun legname nei muri d'ala perchè vengono bagnati solamente nelle epoche delle piene, e quindi si fracidirebbe in breve tempo, come si ebbe a sperimentare là, dove nei primi tempi non si è avuto tale precauzione. Invece il legname nel corpo della serra si è conservato benissimo senza mai nulla soffrire.

L'altra specie di serre adottate per la correzione della Gryonne, è in muratura a secco; le si diede la preferenza in quei punti, dove l'alveo offriva una ubicazione favorevole

e dei materiali adatti. Il tipo nulla presenta di particolare, è quello comunemente usato per tali opere, cioè un semplice muro a secco in curva e con la convessità verso monte; rialzato lateralmente per convogliare l'acqua nel mezzo, e ben incastrato tanto nella roccia di fondazione, quanto in quella delle sponde. Dove il terreno non era roccioso l'incastrato era maggiore e veniva per di più difeso con robusti muri di ala tanto a valle, quanto a monte; i primi impediscono che la serra venga scalzata lateralmente, i secondi la mettono al sicuro dal venir girata dalla corrente. I muri a valle venivano inoltre spinti colla loro fondazione fino alla stessa profondità a cui era stata fondata la serra, onde assicurarli contro lo scalzamento prodotto dalla caduta dell'acqua; anzi per metterli fuori della portata della medesima vennero dappertutto tenuti più verso le sponde di circa metri 1 a 1,50 in più che non i muri d'ala sopraccorrente alla serra.

La platea delle serre veniva eseguita coi massi più voluminosi e più duri che si potevano avere, assestati fra loro.

Vi sono certe serre che hanno massi da 3 a 10 metri cubi l'uno di volume; anzi nella serra Coulat poco più sopra dell'origine del cono di deiezione vi è un masso che ha nientemeno che un volume di 35 metri cubi (fig. 31).

È noto che le serre resistono pel loro peso, perciò tanto più grossi sono i massi e più strettamente serrati nella muratura, tanto maggiore risulta la densità della serra e quindi la sua resistenza agli urti, spinte, ecc. prodotti dall'acqua e materiali che essa trascina.

Nei terreni non rocciosi, dove era a temersi la corrosione del fondo per effetto della caduta e quindi lo scalzamento della serra, questa veniva fondata assai basso non solo, ma munita di una platea in massi posti di coltello, e protetti sul davanti da una controsera o muro di guardia, il quale tenevasi più alto della platea di m. 1,50 a 2 m. secondo l'altezza della caduta della serra, e a livello col letto del torrente a valle. In tal modo si veniva a creare un materasso d'acqua che ammortisce l'urto della caduta, salva la platea dallo scalzamento e annulla la velocità dell'acqua, la quale perdendo tutta la forza viva acquistata in precedenza, riprende qui la sua corsa.

Le serre in muratura della Gryonne furono tutte calcolate, supponendo che la spinta esercitata contro di esse sia quella dell'acqua; poichè in effetto esse agiscono prima ancora che i bacini da esse formati vengano a riempirsi di materiali e per conseguenza quando contengono solamente dell'acqua. Generalmente però le serre della Gryonne hanno avuto lo scopo di arrestare le erosioni e di ridurre le forti pendenze; due sole si costruirono con un'altezza di 6 a 8 metri all'intento di creare bacini di ritenuta e queste si trovano tutte e due nel tratto immediatamente superiore al cono di deiezione. La lunghezza delle serre varia da 16 a 18 metri, di cui 10 metri riservati all'acqua, il resto occupato dai muri di incastramento nelle sponde laterali. L'altezza di caduta varia da m. 1,50 a 4 m. per quelle di legname e da m. 3 a 8 per le altre in muratura.

Colle serre si è diminuita la pendenza del letto della Gryonne e la quantità di materiali trasportata dalle sue acque; per raddrizzare però il corso del torrente si dovette ricorrere a delle arginature longitudinali, che furono eseguite secondo due tipi diversi; l'uno, indicato dalla fig. 32, venne adottato nei tratti, dove si trattava semplicemente di raddrizzare l'asta, o di contenere il corso d'acqua, per impedire che andasse a girare una serra; in questo caso l'alveo, presentando una certa larghezza, bisognava restringerlo, e per non lasciare il muro a secco isolato e senza appoggio, veniva consolidato da un rilevato od argine in terra dietro di esso, il quale serve anche di difesa al muro contro i massi che si staccano dalle pendici, e che senza l'argine andrebbero ad urtare contro il muro.

L'altro tipo, indicato dalla fig. 33, ha dimensioni alquanto più forti, poichè il muro deve resistere anche alla spinta ed al sopraccarico, che le terre accumulate per di dietro esercitano contro di esso, quando hanno preso l'inclinazione definitiva *a b*. Fu eseguito, nei punti dove la sponda era in frana, per effetto della corrosione al piede prodotta dal tor-



Fig. 31. — Alta Gryonne. Serra detta: Dei grossi massi, alla confluenza.

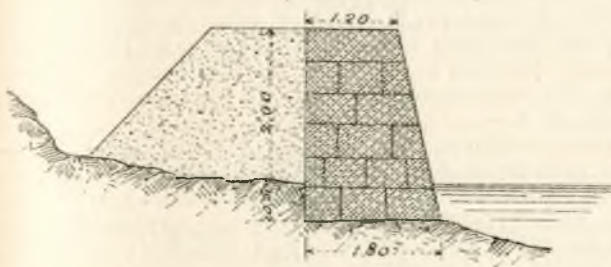


Fig. 32.

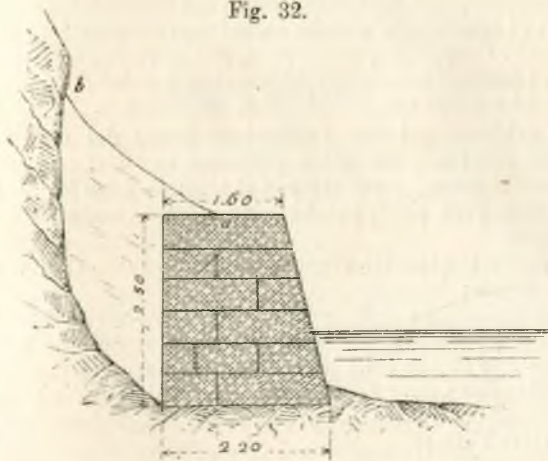


Fig. 33.

rente. Se vi erano anche delle filtrazioni, queste si raccoglievano con un opportuno sistema di fognature, onde prosciugare il terreno e diminuire così la sua spinta, sopprimendosi anche l'eventualità di ulteriori scosscendimenti.

Le fondazioni furono spinte fino al terreno solido e in vicinanza delle serre, fino alla profondità di queste, per una certa lunghezza, allo scopo di impedire che vengano scalzate nel caso di rovina di qualche platea.

In due punti la sponda dell'alveo era stata talmente corrosa, che ne era derivata una insenatura considerevole, la quale, se si fosse lasciata sussistere, avrebbe, nel caso di rotta nell'argine, facilitata la formazione di correnti laterali, che avreb-

bero avuta piena libertà di continuare la corrosione della sponda con tutta la veemenza acquisita. Aggiungasi che tali correnti avrebbero potuto formarsi con veemenza, anche colle acque di filtrazione. Vi si è rimediato rilegando l'argine in froldo con la sponda, a mezzo di argini trasversali in muratura a secco e sufficientemente robusti per resistere all'urto della corrente. Col tempo queste insenature finiscono per colmarsi e la sponda viene così ad essere perfettamente consolidata.

Dallo specchio a pag. 35, rilevasi la lunghezza complessiva delle arginature costruite nella Gryonne.

Gli affluenti della Gryonne sono assai numerosi, ma però di poca importanza, e non apportano che pochi materiali al corso principale. La loro corrosione è in intima relazione con quella del recipiente, per cui una volta arrestata in questo, viene a cessare anche negli affluenti; essa non si estende verso la loro origine molto innanzi, diminuisce sempre mano mano che si allontana dalla loro foce e cessa affatto, dopo una certa distanza, o, per meglio dire, continua per proprio conto senza che il torrente principale vi eserciti più influenza di sorta. In tali condizioni i lavori negli affluenti non furono né molti, né considerevoli: una semplice serra, alla distanza di pochi metri dall'influenza, bastò per estinguere in pochi anni gli affluenti Nant della Grande Râpe e Nant di Sernielaz; nel rio di Loveresses e in quello della Frasse, pure con una serra si ottenne l'arresto completo della corrosione del fondo. La Petite-Gryonne, la Bay di Villars e il ruscello dei Près non hanno avuto bisogno di lavori; bastarono quelli eseguiti nel recipiente per arrestare ogni ulteriore approfondamento del loro letto, e le pendici vanno imboschendosi rapidamente, cosicché in pochi anni questi affluenti saranno se non estinti, almeno perfettamente innocui.

Il Nant des Ravines continua ancora a trasportare molti materiali nella Gryonne; vi si costruirono 10 piccole serre, e con ciò si è intralciata l'azione corroditrice delle sue acque; ma siccome contiene molte sorgenti, l'estinzione completa non è così facile, nè potrà ottenersi tanto presto. Tuttavia trovasi in condizioni che da sé si avvia all'estinzione, o per lo meno a diventare innocuo.

Finalmente l'ultimo affluente di qualche importanza sulla riva destra è il Champeyex, che discende dai monti di Bre-taye dove è situato il lago omonimo (1), e apportava, nelle

(1) È l'unico laghetto compreso nel bacino imbrifero della Gryonne, gli altri due laghi, Noir e di Chavonnes, vicinissimi, appartengono ad altro bacino idrografico.

epoche di piena, gran quantità di materiali; la sua ulteriore corrosione è però ora stata arrestata da una specie di serra naturale, perciò ora non si è creduto pel momento di farvi dei lavori speciali.

La Bassa Gryonne ha, come già si è detto, una lunghezza di metri 5000; per la sua correzione è stata divisa in tre sezioni: la prima, a cominciare dallo sbocco nel Rodano, ha una lunghezza di 1850 metri e una pendenza generale di 1,77 0/0. Si era pensato un momento di deviare l'asta del torrente per introdurlo nel recipiente tangenzialmente al medesimo; ma l'allungamento che ne risultava era di metri 346 circa, portandosi la confluenza a 600 metri più a valle, e siccome la pendenza esistente nell'ultimo tronco era di 1,77 0/0, già per se stessa troppo debole, perchè il torrente convogliasse con facilità i materiali di trasporto nel Rodano, allungando l'asta, non si avrebbe fatto che rendere più difficile, anzi impossibile tale scarico, e così ne sarebbero risultati depositi e continui straripamenti. Si decise quindi di introdurre il torrente nel Rodano ad angolo retto, e in vista della poca pendenza e dei materiali che doveva smaltire, gli si assegnò una sezione trapezia di m. q. 28 con una larghezza di metri 3 alla base, scarpate a 45° e altezza verticale di 4 metri. Tanto il fondo quanto le scarpate si rivestirono di muratura. In tali condizioni, con una velocità di m. 3,50 per minuto secondo, la portata risulta di 100 metri cubi.

Questo tipo fu adottato per una lunghezza di 800 metri, ossia fino all'incontro della strada nazionale Losanna-San Maurizio. Le sponde sono formate artificialmente. Il lavoro ha fatto buona prova; la platea si è mantenuta e non ha subito che l'attrito di alcuni blocchi. A partire da questa prima parte della prima sezione fino al termine della medesima, e cioè fino a metri 1850 dalla confluenza, la sezione dell'alveo è sempre trapezia non più murata, e con una larghezza al fondo di 5 metri; la pendenza è sufficiente allo scolo regolare, quà e là avvengono delle corrosioni nel fondo, che sono subito riempite dai materiali stessi che trasporta il torrente.

La seconda sezione ha una lunghezza di metri 2395; la sua pendenza va sempre più crescendo dal 2 0/0 all'origine fino all'8 0/0. Si sperò che allargando il fondo si potesse mantenere il torrente conservandogli le pendenze esistenti; ma alla prima piena i rivestimenti murari furono scalzati e le corrosioni moltissime; cosicchè si riconobbe la necessità di ridurre la pendenza entro limiti tali da rendere le acque innocue; ciò si ottenne costruendo 90 piccole serre ad opportuni intervalli. Un numero così considerevole di serre risultò oneroso per la manutenzione, poichè al piede di ciascuna di esse avvengono degli scalzamenti che minacciano la rovina delle singole serre; vi si è rimediato con delle platee, ma sembra che in tal modo lo scalzamento sia stato semplicemente traslocato al termine delle platee. Noi crediamo però che un tale inconveniente si sarebbe evitato, se al piede di ogni serra la platea fosse stata costruita in modo da mantenere un materasso d'acqua costante, e a ciò sarebbe bastato il semplice approfondamento di m. 0,20 a m. 0,30 al disotto del letto naturale, a cui raccordavasi con un muretto o soglia di guardia.

La fig. 34, presa pure dal *Mémorial*, rappresenta la correzione avvenuta nelle vicinanze del vecchio ponte di Salaz al disotto di Antagne.

Da questi risultati dobbiamo ritrarre anche un insegnamento, che, cioè, per la correzione della pendenza di un torrente è preferibile ricorrere a poche serre elevate che non a molte piccole, e ciò è non solamente conveniente dal punto di vista della durata e stabilità, ma anche dal punto di vista economico, poichè generalmente in una serra la parte costosa è quella superiore e la fondazione; ora queste due parti, tanto nelle piccole, quanto nelle grandi serre, costano presso a poco lo stesso, o per lo meno la differenza non è considerevole.

La terza sezione non ha che la lunghezza di metri 755, ma contiene le maggiori pendenze, poichè è la parte più elevata del cono di deiezione, per cui si dovette trattarla collo stesso sistema seguito nell'Alta Gryonne, vale a dire costruendovi delle serre di 3 a 4 metri d'altezza; però, per la deficienza di grossi massi, si eseguì la muratura, invece che a secco,



Fig. 34. — Bassa Gryonne nelle vicinanze del vecchio ponte di Salaz

con malta di calce idraulica. La sponda destra è costituita da una specie di parete rocciosa, per cui le serre vennero intestate nella medesima; sulla sinistra invece la sponda è alquanto lontana, per le corrosioni avvenute anteriormente; fu quindi giocoforza rilegare tutte le serre mediante un'arginatura parallela al corso del torrente e della lunghezza di m. 755, ossia quanto la sezione. Le serre costruite sono in numero di 8.

Queste sarebbero tutte le opere eseguite per la correzione della Gryonne, la quale si può ritenere quasi completa; diciamo quasi, poichè da un'ispezione ulteriore particolareggiata, eseguita dopo un certo lasso di tempo, per lasciar campo di agire alle opere eseguite e ai punti deboli di manifestarsi, si riconobbe che sarebbero ancora necessarie tre serre in muratura a secco, una in muratura con calce idraulica e 1560 metri di arginatura, nonchè alcuni sopralzamenti delle serre esistenti. Compilate queste opere, per le quali già si sono stabiliti i fondi, la correzione della Gryonne potrà ritenersi completa ed entrare nel periodo di mantenimento.

È evidente poi che l'estinzione totale dei vari rii nel bacino montano, non potrà ottenersi senza il concorso del rimboschimento, a cui attende il servizio forestale, il quale non avrà gran pena, poichè la vegetazione naturale è assai energica.

I risultati ottenuti vengono enumerati dal signor Payot come segue:

Soppressione delle erosioni sul cono di deiezione del torrente e delle inondazioni, e quindi dei danni che ne derivavano alle strade della pianura ed alla ferrovia.

Maggior valore acquistato dai terreni coltivati, che si vendevano prima a vilissimo prezzo e che ora valgono da 3300 a 3900 lire l'ettaro.

Possibilità di coltivare non pochi terreni che erano stati abbandonati, e di conservare delle foreste e dei pascoli nella montagna.

Cessazione delle spese annuali in causa delle difese che si facevano per salvarsi dalle inondazioni.

Grande vantaggio per la correzione del Rodano inferiore, che, senza quella della Gryonne, diventava impossibile.

Finalmente, sicurezza delle vicine saline di Bex.

La spesa complessiva dal 1878 al 1894 è stata
di L. 1 049 195

Importo della perizia suppletiva, la cui esecuzione è già stata decretata L. 138 179

Totale L. 1 187 374

Negli altri affluenti del Rodano, l'Avançon e la Grande-Eau, non abbiamo lavori che valgano la pena di essere ricordati. L'Avançon immette nel Rodano di fronte a Massonger; attraversa la ferrovia del Sempione al chilometro 19 da Villeneuve, la strada da Losanna a Saint-Maurice, e la parte alta dell'abitato di Bex. Non ha carattere torrentizio come la Gryonne; il suo alveo nella pianura è molto incassato e risalendo segue il fondo della vallata; la sua magra non dura più di tre mesi; le acque medie invece, con volume notevole, hanno una durata di otto mesi; le piene avvengono nell'aprile, però non trasportano grandi quantità di materiali e riescono innocue, anche perchè l'altezza delle sponde impedisce ogni straripamento.

Questa regolarità di regime dipende per la massima parte dal bacino idrografico, che è ricco di foreste, le quali arrestano la discesa precipitosa delle acque di pioggia e ne regolarizzano lo scolo. In tali condizioni anche il suo letto ha potuto raggiungere relativamente presto il profilo di compensazione conveniente al regime del torrente, e non ha bisogno di alcun lavoro di sistemazione.

Non così la Grande-Eau, che è uno degli affluenti più importanti del Rodano nel distretto di Aigle; non è torrentizio quanto la Gryonne, ma va soggetto a delle crisi subitane e terribili, minacciando Aigle che si trova sotto corrente e la ferrovia del Sempione che attraversa al chilometro 9. Ha un bacino di 144 chilometri quadrati e di 7 chilometri quadrati dal colle di deizeion in sotto. Ha origine al piede del ghiacciaio delle Diablerets a m. 1326, discende fino a m. 385 nel Rodano, con una lunghezza di 23665 metri.

Dal Governo di Vaud si stanno facendo gli studi necessari per correggere anche questo torrente in modo analogo a quanto si è fatto per la Gryonne, invocando sussidi nelle stesse proporzioni dal Governo federale.

(Continua)

G. CREGNOLA.

COSTRUZIONI STRADALI

CONSOLIDAMENTO DELL'ARGINE FERROVIARIO SU TERRENI TORBOSI IN UNA TRATTA DELLA FERROVIA LECCO-COMO IN REGIONE DETTA VALLE GUADOSCURO

Vedasi la Tavola III

Il tracciato della ferrovia Lecco-Como attraversa, all'uscita della galleria di San Nazaro presso la Santa, tronco Oggiono-Lecco, una pianura torbosa detta Valle di Guadoscuoro.

Fatti gli opportuni sondaggi, osservossi che lo strato torboso non aveva che l'altezza di circa metri 3.

Due erano qui i sistemi di consolidamento a praticarsi: od eseguire colle materie provenienti dalla galleria vicina, detta di San Nazaro, l'argine stradale sulla campagna torbosa lasciando che l'argine si addentrasse fino ad ottenere uno strato torboso maggiormente compatto e tale da resistere alla pressione sovraincombente, quale sistema ebbe buona riuscita in molti casi, come ad esempio per la ferrovia Como-Chiasso che attraversa i terreni torbosi presso la stazione di Albate-Camerlata; ovvero estrarre tutta la materia torbosa, sostituendola con materie buone.

Per l'attraversamento di questa valle si reputò miglior consiglio quello di estrarre la materia torbosa e sostituirla con materie buone, in considerazione che si avevano a disposizione le materie rocciose della galleria di San Nazaro, le quali diversamente si sarebbero rifiutate, ed in considerazione che la spesa dello scavo del terreno torboso non era grave, atteso che la profondità era limitata ai metri 3 circa.

Il lavoro procedette avanti con ordine e regolarità, e pienamente si ottenne il risultato che alla ferrovia fosse data una sede sicura.

Eseguito lo scavo in acqua con badilioni appositi da operai di Bosio, sul lago di Pusiano, pratici di lavori nelle torbiere, a compartimenti da 6 ad 8 metri di lunghezza, e per

tutta la larghezza occorrente per completare l'argine stradale, come vedesi dalle sezioni trasversali A, B, C della Tavola III, si gettavano alla rinfusa le pietre più grosse ai lati in modo da formare due argini o banchine di sostegno, indi completavasi il riempimento con detriti delle materie rocciose ed eseguivasi l'argine ferroviario di mano in mano che procedevansi avanti col riempimento dello scavo.

Le pareti di scavo della torba erano stabili anche a scarpa poco inclinata (1/5), senza bisogno di paratie o di sbadacchiature. Il lavoro si è cominciato e proseguito dall'Amministrazione governativa negli anni 1885-86 fino presso all'acquedotto segnato in disegno, cioè per ml. 93.

Il profilo e le sezioni trasversali danno una chiara idea del lavoro di consolidamento eseguitosi; e quando occorresse, per altra ferrovia su terreni torbosi ove si avesse materia buona ad esuberanza e che lo sgombrò della torba si potesse fare senza grave spesa, forse sarà bene ricorrere ad un sistema identico a quello praticatosi per l'attraversamento della valle di Guadoscuoro, pel quale si ebbero le seguenti quantità di lavoro coi seguenti importi, dedotti dai prezzi dell'appalto che era in vigore pel tronco Oggiono-Lecco:

Scavo d'incassamento sopra le sorgive, mc. 247 a L. 1.45	L. 358.15
Scavo subacqueo, mc. 4128 a L. 3	» 12,384 —
Riempimento con pietre a secco, metri cubi 2718 a L. 2.10	» 5707.80
Riempimento con materie buone (detriti di rocce), mc. 1788 a L. 0.65	» 1162.20
Somma totale	L. 19,612.15

Quale somma, ragguagliata a metro lineare di ferrovia consolidata, costituisce una spesa di L. 210.88, la quale (da depurarsi ancora del ribasso d'asta) non può certamente reputarsi esagerata.

Dicembre 1896.

Ing. L. P.

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

SULLA DISTANZA PIÙ ECONOMICA DELLE TRAVI NEI TETTI IN LEGNAME ARMATI A FALSI-PUNTONI.

Nota dell'Ing. CARLO SETTIMIO RIVERA.

I.

I tetti generalmente più in uso e più economici per gli edifici civili sono quelli a struttura in legname e sostenuti, anziché da capriate, da falsi-puntoni.

Ora accade sovente che la conformazione della pianta dell'edificio a coprirsi lasci al progettista una certa libertà nell'assegnare le reciproche distanze alle varie travi di legno che costituiscono l'armatura e l'orditura del tetto, quando, ben inteso, le loro dimensioni possano scegliersi a volontà entro i limiti imposti dal commercio. Anzi, il più delle volte, come ad esempio quando si hanno a coprire piante rettangolari molto allungate, il costruttore ha il più vasto arbitrio nella determinazione di quelle distanze, e gli si presenta quindi il problema di cercare quali sieno le distanze più economiche, ossia quelle che rendono minimo il costo di un metro quadrato di tetto.

E che questo minimo debba esistere lo si può sospettare considerando che se noi facciamo, ad esempio, aumentare la mutua distanza relativa a un dato ordine o strato qualunque delle travi componenti l'armatura o l'orditura del tetto (falsi-puntoni, arcarecci, travicelli) mentre otterremo una effettiva diminuzione nel numero di dette travi, e anche nel loro volume e costo per metro quadrato di falda, renderemo per contro necessario (se non vorremo oltrepassare il carico di sicurezza preventivamente impostoci) l'assegnare alle travi dell'ordine o strato immediatamente superiore, stante l'accresciuta distanza dei loro appoggi, maggiori dimensioni.

E' adunque naturale, dappoichè il costo del tetto è funzione delle mutue distanze delle travi di cui è composto, di

investigare quale sia questa funzione, se ammetta un minimo, quali sieno le varie distanze che a questo minimo corrispondono, e se l'adottarle non trovi qualche ostacolo di indole pratica.

Ecco la questione che mi propongo di risolvere, e che mi pare non sia priva di una qualche importanza, essendo che le distanze suggerite dai manuali, oltre all'essere desunte soltanto da osservazioni pratiche, lasciano ad ogni modo tra i loro estremi un vasto campo entro il quale sempre possiamo trovarci nell'incertezza della scelta.

Avverto che nella seguente trattazione supporrò di considerare un tetto a tegole piane, sostenute dai seguenti ordini o strati di travi in legname (procedendo dall'alto verso il basso):

1. *Listelli*. Piccole travi su cui si appoggiano direttamente le tegole piane e che corrono parallelamente alla linea di gronda;

2. *Travicelli*, che sorreggono i listelli e sono disposti in senso normale a questi, ossia secondo la retta di massima pendenza della falda;

3. *Arcarecci o terzere*. Travi parallele ai listelli;

4. *Falsi-puntoni*, che sono le travi più grosse, appoggiate in basso sul muro perimetrale dell'edificio, con o senza l'interposizione di una *bauchina* in legno, e in alto sopra una trave orizzontale detta *di colmo*, sostenuta da pilastri, oppure sopra un muro che si eleva per tutta l'altezza del sottotetto.

Ai tetti a tegole curve o a lastre di pietra saranno pure in generale applicabili le considerazioni e le formule che seguiranno, dappoichè la distanza dei listelli sarà anche in questi casi imposta dal tipo della copertura. Infine, per quanto verrà detto in appresso, la trattazione seguente potrà pure valere nel caso in cui l'ordine dei listelli venga rimpiazzato da un assetto di tavole.

Prima però di venire all'esame del problema, quale lo enunciai più sopra, bisognerà che ci occupiamo di alcune piccole questioni di interesse particolare, o dalle quali dipendono alcune delle quantità che formeranno i dati del nostro problema.

II.

Una prima questione che si presenta a chi sta progettando in generale un'opera in legname si è la scelta del legname stesso, o in altre parole il paragone tra varie essenze di legno, avuto riguardo al loro costo commerciale sul luogo di impiego e alla loro resistenza specifica.

Date più qualità di legname, di cui sieno noti i prezzi al metro cubo in opera e i relativi carichi di sicurezza, trattasi di determinare quale delle date essenze sia la più economica per una data sollecitazione.

Lasciata per ora da parte la questione della durata, sulla quale del resto in generale troppo pochi sono i dati che si hanno per poter fare dei confronti con qualche fondamento, bisognerà distinguere se trattasi di sollecitazione a compressione semplice, a tensione o a flessione.

Cominciamo dal caso di sollecitazione a pressione.

Indicato con k il carico di sicurezza alla compressione relativo ad una delle qualità di legname da porsi a confronto, con γ il suo prezzo a metro cubo in opera, e detto N lo sforzo di compressione massimo cui vuol cimentarsi la trave, l'area F della sezione reagente dovrà essere:

$$F = \frac{N}{k}$$

Quindi il costo di un metro lineare di trave sarà:

$$\gamma \frac{N}{k}$$

Ora, trascurandol'influenza della variazione del peso proprio della trave sul carico N , ossia ritenendo N uguale per tutte le specie di legno a confrontarsi, è facile concludere che sarà più economica quella qualità di legno per cui sarà minimo il termine:

$$\frac{\gamma}{k}$$

In modo analogo si troverebbe, per la sollecitazione a tensione, detto k il carico di sicurezza alla tensione, che sarà più economica quella essenza per la quale risulta minimo il termine:

$$\frac{\gamma}{k_1}$$

Per la sollecitazione a flessione, siccome per il legname, sollecitato parallelamente alle fibre, il carico di sicurezza alla tensione è maggiore di quello relativo alla compressione, ed essendo per la sezione rettangolare eguali le distanze dall'asse neutro della fibra più tesa e più compressa, bisognerà prendere a base del calcolo la stabilità alla compressione.

Detto M il massimo momento flettente cui deve essere cimentata la trave (momento che riterrò eguale per tutte le essenze) e supposto che le sezioni delle travi a confrontarsi siano rettangoli simili in cui dirò θ il rapporto tra la base b e l'altezza h , l'equazione di stabilità per una qualunque delle travi sarà:

$$\frac{M}{k} = \frac{I}{y'}$$

dove I è il momento d'inerzia della sezione rispetto all'asse neutro, e y' la distanza da quest'asse della fibra più compressa.

Ora per la sezione rettangolare di dimensioni $b \times h$, si ha:

$$\frac{I}{y'} = \frac{1}{6} b h^2$$

ed essendo $h = \theta b$:

$$\frac{I}{y'} = \frac{5}{6} b^3$$

Da cui:

$$b^3 = \frac{6}{\theta^2} \frac{I}{y'} = \frac{6}{\theta^2} \frac{M}{k}$$

e:

$$b^3 = \left(\frac{6M}{k\theta^2} \right)^{2/3}$$

Il volume di un metro lineare di trave sarà:

$$b h = \theta b^2 = \theta \left(\frac{6M}{k\theta^2} \right)^{2/3}$$

e il suo costo in opera:

$$\gamma \theta \left(\frac{6M}{k\theta^2} \right)^{2/3}$$

Tolti quindi i fattori costanti, il termine da porsi a confronto sarà:

$$\frac{\gamma}{k^{2/3}}$$

Non prendo in esame la sollecitazione a *taglio semplice*, perchè mai nella pratica si presenta scompagnata dalla sollecitazione a flessione. Nel caso poi di sollecitazione composta a flessione e taglio, per le usuali travi di legno prismatiche uniformemente caricate, basta, come è noto, verificare la stabilità alla sola flessione.

Il reciproco dei termini di confronto sopra ricavati, il quale offre in certo modo la misura della convenienza economica di adottare una data specie di legname, potrebbe dirsi *coefficiente economico* delle varie essenze.

Con questa notazione, il coefficiente economico sarebbe espresso, per la sollecitazione a pressione da $\frac{k}{\gamma}$; per la ten-

sione da $\frac{k_1}{\gamma}$ e per la flessione da $\frac{k^{2/3}}{\gamma}$.

Appare chiaro da ciò come non basti la conoscenza del prezzo unitario e della resistenza per potere, fra più essenze, determinare la più economica; occorre anche sapere a qual genere di sollecitazione le travi devono essere cimentate.

Una specie di legname, la quale sia la più conveniente per farne, ad esempio, corte saette o contraffissi (pressione) può non esserlo quando si tratti di ricavarne arcarecci o terzere (flessione).

Se poi si avessero sufficienti dati per porre a confronto la durata media delle varie qualità di legname (durata che espressa in anni indicherò con n), anzichè considerare il costo delle travi, bisognerebbe considerare il capitale capace di fornire ogni n anni il valore periodico anticipato rappresentante il costo suddetto.

Il capitale C capace di fornire ogni n anni il valore anticipato P , è dato, come è noto, da:

$$C = P \frac{q^n}{q^n - 1}$$

ove $q = 1 + r$ ed r è il saggio d'interesse.

Sostituendo a P i costi di un metro lineare di trave più sopra trovati, soppressi i fattori costanti e, fatto il reciproco, si troverebbero i seguenti coefficienti economici:

per la compressione:

$$\frac{k}{\gamma} \frac{q^n - 1}{q^n} = \frac{k}{\gamma} \left(1 - \frac{1}{q^n}\right);$$

per la tensione:

$$\frac{k}{\gamma} \left(1 - \frac{1}{q^n}\right),$$

e per la flessione:

$$\frac{k \frac{2}{3}}{\gamma} \left(1 - \frac{1}{q^n}\right).$$

III.

Studiamo ora la stabilità dei falsi-puntoni e dei travicelli, ossia in generale delle travi disposte parallelamente alla retta di massima pendenza della falda.

Premetteremo che, qualunque le forze sollecitanti una qualunque delle travi di un tetto uniformemente caricato (ad eccezione dei listelli) sieno piuttosto concentrate in corrispondenza dei punti d'appoggio delle travi dello strato superiore, tuttavia per brevità di calcolo e del resto con approssimazione più che sufficiente, data l'indole della questione, riterremo che dette forze o carichi sieno distribuiti con continuità ed uniformemente in tutta la lunghezza delle travi.

Riterremo ancora, operando in favore della stabilità che, oltre ai falsi-puntoni, anche le altre travi, le quali in realtà sono continue su più appoggi, siano invece discontinue su tutti gli appoggi; ciò che del resto è consigliato dal fatto che i tratti estremi di tali travi, potendo considerarsi come incastrati da una parte ed appoggiati all'altra, supposti caricati uniformemente, sono soggetti ad un momento flettente in corrispondenza dell'incastro eguale a quello che si verificherebbe $\left(\frac{Ql}{8}\right)$ nel mezzo di essi tratti qualora fossero semplicemente appoggiati agli estremi.

Il carico uniforme massimo, che deve considerarsi come agente sulle travi di un dato strato, proviene:

1° Dal carico prodotto dai pesi delle tegole, degli strati di legname sovrapposti e dal peso proprio, carico agente in senso verticale;

2° Dal peso di uno strato di neve pari ai massimi che si verificano nel luogo in cui si costruisce, pure agente in senso verticale;

3° Dalla massima pressione del vento, che, come è noto, per approssimazione, può ritenersi agente in senso normale alla falda.

L'insieme di tutte queste forze, ritenute uniformemente distribuite sulla falda e riferite al metro quadrato di essa, costituisce il carico unitario q che, moltiplicato per la superficie sorretta da una data trave, ne dà il carico totale Q .

Questo carico totale Q , o l'unitario q , non agirà nè verticalmente nè normalmente alla falda, ma secondo una direzione formante un certo angolo β colla normale alla falda.

Ne segue che passando da uno strato di travi all'altro, posto immediatamente al disotto, il carico q relativo a questo nuovo strato, non solo sarà maggiore di quello relativo allo strato superiore, ma agirà anche con una inclinazione β , colla normale alla falda, diversa e più precisamente minore di quella secondo cui agiva il primo.

Però, stante la grande preponderanza del carico accidentale (neve e vento) e del peso delle tegole di fronte al peso dei legnami, noi potremo ritenere che quest'angolo β formato colla normale alla falda dalla risultante dei carichi relativi ad un dato strato di travi sia costante, ossia eguale per tutte le travi del tetto.

Quest'angolo β sarà minore, ma quasi sempre molto prossimo alla inclinazione α della falda sull'orizzonte, e ad ogni modo sarà sempre (sia graficamente che analiticamente) determinabile.

Ciò premesso in via generale e per tutte le travi del tetto, consideriamo ora un falso-puntone o un tratto di travicello compreso tra due appoggi successivi: travi normali alla linea di gronda.

Avuto riguardo all'uso giustamente invalso di assicurare i falsi puntoni alla trave di colmo e alla banchina e i travicelli agli arcarecci mediante staffe o chiodi o gattelli, potremo considerare il tratto di trave in questione come un solido sostenuto a cerniera agli estremi, e soggetto a un carico Q uniformemente distribuito sulla sua lunghezza, carico la cui direzione forma l'angolo β colla normale all'asse del solido.

Qualunque punto della linea d'azione della risultante del carico Q , unito mediante due rette colle cerniere estreme, può fornire le linee d'azione di due reazioni staticamente possibili. Il sistema è quindi staticamente indeterminato.

Dette A e B le componenti delle reazioni fornite dalle cerniere, dirette normalmente all'asse della trave, e X una delle componenti di dette reazioni dirette lungo l'asse (l'altra sarà evidentemente $Q \sin \beta - X$) si avrà dalla statica, detta l la lunghezza della trave e notando che la risultante Q passa pel punto di mezzo della trave:

$$A + B = Q \cos \beta,$$

e:

$$Q \frac{l}{2} \cos \beta - B l = 0,$$

da cui:

$$A = B = \frac{Q \cos \beta}{2}.$$

Resta a determinare la X . È facile prevedere che si avrà $X = \frac{Q \sin \beta}{2}$. Ciò del resto può provarsi applicando il teorema del Castigliano: se la temperatura è costante e gli appoggi sono assolutamente fissi (le reazioni fanno lavoro nullo) le quantità staticamente indeterminate hanno i valori che rendono minimo il lavoro di deformazione del solido:

$$L = \int \frac{N^2 ds}{2EF} + \int \frac{M^2 ds}{2EI} + \int \chi \frac{T ds}{2GF},$$

ove N , M , T sono rispettivamente lo sforzo normale, il momento flettente e lo sforzo di taglio sollecitanti una sezione mobile, F ed I l'area e il momento d'inerzia della sezione, E e G rispettivamente il modulo di elasticità normale e tangenziale della materia di cui è composto il solido, χ un coefficiente numerico dipendente dalla forma della sezione, ds l'elemento di lunghezza del solido.

Osservando che M e T sono indipendenti dalla X , basterà che rendiamo minimo il primo termine $\int \frac{N^2 ds}{2EF}$, ossia essendo E ed F costanti, il termine $\int N ds$.

Preso per origine delle s l'estremo inferiore della trave cui suppongo applicata la X , avremo (ricordando che il carico per unità di lunghezza della trave è $\frac{Q}{l}$ e la sua componente

assiale è $\frac{Q}{l} \sin \beta$) che lo sforzo normale N , relativo alla sezione situata all'ascissa s , sarà:

$$N = X - \frac{Q \sin \beta}{l} s.$$

Sostituendo, si otterrà:

$$\begin{aligned} \int_0^l N^2 ds &= \int_0^l \left(X - \frac{Q \sin \beta}{l} s \right)^2 ds = \\ &= \int_0^l \left(X^2 - 2X \frac{Q \sin \beta}{l} s + \frac{Q^2 \sin^2 \beta}{l^2} s^2 \right) ds = \\ &= \left[X^2 s - 2X \frac{Q \sin \beta}{l} \frac{s^2}{2} + \frac{Q^2 \sin^2 \beta}{l^2} \frac{s^3}{3} \right]_0^l = \\ &= \left(X^2 + \frac{Q \sin^2 \beta}{3} - X Q \sin \beta \right) l. \end{aligned}$$

Questa è l'espressione che si tratta di rendere minima. Derivando rispetto ad X ed eguagliando a zero, si ha:

$$2X - Q \sin \beta = 0,$$

da cui:

$$X = \frac{Q \sin \beta}{2},$$

come appunto volevasi dimostrare.

Vediamo ora quale sia lo sforzo massimo di compressione cui è cimentata la trave.

Detta x la distanza di una sezione mobile dall'estremo inferiore della trave, ossia da quell'estremo in cui la reazione assiale $\frac{Q \sin \beta}{2}$ è diretta contro la trave, detti N_x e M_x lo sforzo normale e il momento flettente relativi a detta sezione, si avrà:

$$\begin{aligned} N_x &= \frac{Q \sin \beta}{2} - \frac{Q \sin \beta}{l} x = \frac{Q \sin \beta}{2} \left(1 - 2 \frac{x}{l} \right), \\ M_x &= \frac{Q \cos \beta}{2} x - \frac{Q \cos \beta}{l} \frac{x^2}{2} = \frac{Q \cos \beta}{2} \left(1 - \frac{x}{l} \right) x. \end{aligned}$$

Come è noto, la maggior pressione unitaria σ_x che si verifica nella sezione considerata, di ascissa x , detta F l'area di essa sezione, I il suo momento di inerzia rispetto all'asse neutro, ρ il corrispondente raggio d'inerzia, sarà:

$$\sigma_x = \frac{N_x}{F} + \frac{M_x}{I} = \frac{1}{F} \left(N_x + M_x \frac{y''}{\rho^2} \right),$$

ove y'' è la distanza dall'asse neutro della fibra più compressa.

Sostituisco a N_x e M_x i valori più sopra trovati:

$$\sigma_x = \frac{Q}{2F} \left\{ \sin \beta \left(1 - 2 \frac{x}{l} \right) + \cos \beta \left(1 - \frac{x}{l} \right) x \frac{y''}{\rho^2} \right\}.$$

Quale sarà la sezione ove si verifica la massima compressione unitaria? Derivo rispetto ad x ed eguaglio a zero la $\frac{d\sigma_x}{dx}$. Detta x_0 l'ascissa della sezione cercata, avremo:

$$-\frac{\sin \beta}{l} + \frac{\cos \beta}{2} \frac{y''}{\rho^2} \left(1 - \frac{2x_0}{l} \right) = 0,$$

da cui:

$$x_0 = \frac{l}{2} - \frac{\rho^2}{y''} \tan \beta.$$

Quindi la massima (*) compressione unitaria sarà:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max.} &= \frac{Q}{2F} \left\{ \sin \beta \left[1 - \frac{2}{l} \left(\frac{l}{2} - \frac{\rho^2}{y''} \tan \beta \right) \right] + \right. \\ &+ \left. \cos \beta \frac{y''}{\rho^2} \left[\frac{l}{2} - \frac{\rho^2}{y''} \tan \beta - \frac{1}{l} \left(\frac{l}{2} - \frac{\rho^2}{y''} \tan \beta \right)^2 \right] \right\} \end{aligned}$$

e riducendo:

$$\sigma_{\max.} = \frac{Q}{2F} \left\{ \frac{\rho^2}{ly''} \sin \beta \tan \beta + \frac{l}{4} \frac{y''}{\rho^2} \cos \beta \right\}.$$

Questa formula vale finchè $x_0 \geq 0$, ossia $\tan \beta \leq \frac{l}{2} \frac{y''}{\rho^2}$, ciò che sempre si verifica nei tetti usuali. Se risultasse invece $x_0 < 0$, la sezione più cimentata sarebbe la iniziale, e in questo caso $\sigma_{\max.} = \frac{Q \sin \beta}{2F}$.

Noi escluderemo questa ipotesi, la quale non può presentarsi che nei tetti a fortissime inclinazioni, la cui orditura è affatto diversa da quella che noi consideriamo.

Riprendiamo adunque la formula:

$$\sigma_{\max.} = \frac{Q}{2F} \left\{ \frac{\rho^2}{ly''} \sin \beta \tan \beta + \frac{l}{4} \frac{y''}{\rho^2} \cos \beta \right\}.$$

Osservo che per la sezione rettangolare di dimensioni $b \times h$

$$\text{si ha } I = \frac{1}{12} b h^3; \quad F = b h; \quad \rho^2 = \frac{I}{F} = \frac{h^2}{12};$$

$$y'' = \frac{h}{2}; \quad \frac{\rho^2}{y''} = \frac{h}{6}.$$

Sostituendo si ha:

$$\sigma_{\max.} = \frac{Q}{2bh} \left\{ \frac{h}{6l} \sin \beta \tan \beta + \frac{3}{2} \frac{l}{h} \cos \beta \right\},$$

o ancora:

$$\sigma_{\max.} = \frac{3}{4} \frac{Ql}{bh^2} \left\{ \left(\frac{h}{3l} \right)^2 \sin \beta \tan \beta + \cos \beta \right\}.$$

Derivando rispetto a β si ha:

$$\frac{d\sigma_{\max.}}{d\beta} = \frac{Q \sin \beta}{b} \left\{ \frac{2}{12l} + \tan^2 \beta - \frac{3}{4} \frac{l}{h^2} \right\}.$$

Ed eguagliando a zero $\frac{d\sigma_{\max.}}{d\beta}$, si ottengono come radici di questa equazione in β due valori:

$$\beta' = 0 \quad \text{e} \quad \beta'' = \arctang \sqrt{\left(\frac{3l}{h} \right)^2 - 2},$$

dei quali solo il primo rende negativo il $\frac{d^2\sigma_{\max.}}{d\beta^2}$ (essendo $h < l$).

Ne segue che a parità d'intensità nel carico, la condizione più sfavorevole (**) (sempre, s'intende, per le travi normali

(*) Si ha $\frac{d^2\sigma}{d\beta^2} = \frac{Q}{F} \left(-\frac{\cos \beta}{l} \frac{y''}{\rho^2} \right) < 0$ e quindi trattasi effettivamente di un massimo e non di un minimo.

(**) Per $\beta = \arctang \frac{ly''}{2\rho^2} = \arctang \frac{3l}{h}$ si ottiene:

$$\sigma_{\max.} = \frac{Q \sin \beta}{2bh} = \frac{3}{2} \frac{Ql}{bh^2} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{3l}{h} \right)^2 + 1}}$$

che evidentemente, essendo $l > h$, è $<$ del valore $\frac{3}{4} \frac{Ql}{bh^2}$ che corrisponde a $\beta = 0$. Cosicché, anche per detto valore limite di β , il valore di $\sigma_{\max.}$, che pur non essendo massimo in senso algebrico avrebbe potuto superare il massimo algebrico, invece non lo raggiunge.

alla linea di gronda) si ha quando la direzione del carico è normale alla falda del tetto ($\beta=0$). In questo caso si avrebbe:

$$\sigma_{\max.} = \frac{3}{4} \frac{Q l}{b h^2}$$

Interessa risolvere la seguente questione: Dato un carico totale Q (che diremo reale) insistente su un falso-puntone (o tratto di travicello) e formante colla normale alla falda del tetto l'angolo β , determinare un carico fittizio Q' normale alla falda, producente nel falso-puntone la stessa compressione unitaria massima.

Si avrà:

$$\sigma_{\max.} = \frac{3}{4} \frac{Q' l}{b h^2}$$

$$\sigma_{\max.} = \frac{3}{4} \frac{Q l}{b h^2} \left\{ \left(\frac{h}{3l} \right)^2 \sin \beta \tan \beta + \cos \beta \right\},$$

da cui:

$$Q' = Q \left\{ \left(\frac{h}{3l} \right)^2 \sin \beta \tan \beta + \cos \beta \right\},$$

Ora essendo in generale $\frac{h}{l} < 0,05$, e $\beta < 30'$, ossia $\sin \beta < 0,5$ e $\tan \beta < 0,58$, il primo termine entro la parentesi grande risulterà in generale minore di 0,000084, termine che di fronte a $\cos \beta$ si potrà trascurare, avuto riguardo all'incertezza che si ha nell'apprezzare Q e alla larghezza che si userà nel fissarlo.

Potremo quindi ritenere:

$$Q' = Q \cos \beta$$

ed anche evidentemente:

$$q' = q \cos \beta.$$

In altre parole, per le travi disposte secondo la retta di massima pendenza del tetto, si potrà tener conto della sola componente del carico normale alla falda.

IV.

Veniamo ora alle travi disposte orizzontalmente: arcarecci e listelli.

Mentre nei falsi-puntoni precedentemente studiati la risultante dei carichi faceva un angolo non retto coll'asse della trave, ma risultava disposta nel piano degli assi maggiori delle ellissi centrali d'inerzia delle sezioni rette della trave, qui succede l'opposto: ossia la risultante dei carichi è normale all'asse della trave, ma formerà un angolo β (per quanto si disse approssimativamente uguale al β precedentemente considerato) con detto piano.

Considero la sezione mediana (di dimensioni $b \times h$) dell'arcareccio o del listello. Preso per asse delle x l'asse minore e per asse delle y l'asse maggiore dell'ellisse centrale d'inerzia, e detto β l'angolo fatto con quest'ultimo dall'asse di sollecitazione, è noto che la pressione unitaria massima provocata in detta sezione da un carico totale Q uniformemente distribuito (ipotesi che, come si disse, supporremo verificarsi) considerando, come più sopra si è avvertito, la trave come semplicemente appoggiata agli estremi, è:

$$\sigma = \frac{l Q \cos \beta}{8} \frac{h}{2 I_x} + \frac{l Q \sin \beta}{8} \frac{b}{2 I_y},$$

ove:

$$I_x = \frac{b h^3}{12} \quad ; \quad I_y = \frac{h b^3}{12}.$$

Sostituendo:

$$\sigma = \frac{Q l}{8} \left\{ \frac{6}{b h^2} \cos \beta + \frac{6}{h b^2} \sin \beta \right\},$$

o ancora:

$$\sigma = \frac{3}{4} \frac{Q l}{b h} \left(\frac{\cos \beta}{h} + \frac{\sin \beta}{b} \right).$$

Qual è il β più sfavorevole a parità di Q ?

$$\left(\frac{d \sigma}{d \beta} \right)_{\beta=\beta_0} = \frac{3}{4} \frac{Q l}{b h} \left\{ \frac{\cos \beta_0}{b} - \frac{\sin \beta_0}{h} \right\} = 0,$$

da cui:

$$\tan \beta_0 = \frac{h}{b},$$

valore che rende < 0 il:

$$\frac{d \sigma}{d \beta^2} = \frac{3}{4} \frac{Q l}{b h} \left\{ -\frac{\sin \beta}{b} - \frac{\cos \beta}{h} \right\},$$

e quindi corrisponde effettivamente ad un massimo e non ad un minimo.

Dunque l'asse di sollecitazione più sfavorevole è normale ad una delle diagonali del rettangolo di sezione, ciò che poteva anche dimostrare per altra via, considerando il nocciolo centrale d'inerzia che, come si sa, ruotato di $180'$ (per la sezione simmetrica rispetto agli assi non occorre), dà, coll'area in cui nelle due posizioni si sovrappone a sè stesso, il diagramma polare del massimo momento flettente cui può resistere la sezione, secondo le varie direzioni dell'asse di sollecitazione.

Determiniamo ora un carico fittizio Q' sollecitante la trave secondo il piano degli assi delle y delle sezioni (ossia normalmente alla falda), carico il quale produca nella trave la stessa compressione unitaria massima che produce il carico reale Q inclinato su quello dell'angolo β .

Per quanto precede, avremo:

$$\frac{3}{4} \frac{Q' l}{b h} = \frac{3}{4} \frac{Q l}{b h} \left(\frac{\cos \beta}{h} + \frac{\sin \beta}{b} \right)$$

$$Q' = Q \left(\cos \beta + \frac{h}{b} \sin \beta \right),$$

e indicando con θ il rapporto tra l'altezza e la larghezza della sezione ($\theta = \frac{h}{b}$):

$$Q' = Q (\cos \beta + \theta \sin \beta)$$

e quindi anche:

$$q' = q (\cos \beta + \theta \sin \beta).$$

Si può domandare: dato un certo angolo β secondo cui agisce il carico reale Q , qual è il valore di θ più economico, ossia qual rapporto tra l'altezza e la base deve assegnare alla sezione perchè la trave risulti del minor volume?

L'equazione di stabilità della trave sarà, detto k il carico di sicurezza alla compressione:

$$k = \frac{3}{4} \frac{Q l}{b h} \left(\frac{\cos \beta}{h} + \frac{\sin \beta}{b} \right),$$

e posto $h = \theta b$:

$$k = \frac{3}{4} \frac{Q l}{\theta^2 b^3} (\cos \beta + \theta \sin \beta),$$

da cui:

$$b^3 = \left(\frac{3}{4} \frac{Q l}{k} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\cos \beta}{\theta^2} + \frac{\sin \beta}{\theta} \right)^{\frac{2}{3}}.$$

Il volume del legname per una trave di lunghezza l sarà:

$$V = l b h = l \theta b^3 = l \theta \left(\frac{3}{4} \frac{Q l}{k} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\cos \beta}{\theta^2} + \frac{\sin \beta}{\theta} \right)^{\frac{2}{3}}.$$

Trattasi di trovare il valore di θ , che indicherò con θ_0 , il quale renda minimo il V , ossia l'espressione:

$$\theta \left(\frac{\cos \beta}{\theta^2} + \frac{\sin \beta}{\theta} \right)^{\frac{2}{3}}$$

o ancora quest'altra:

$$\frac{1}{\theta^2} \sin \beta + \theta^{-\frac{1}{2}} \cos \beta.$$

Derivo rispetto a θ ed eguaglio a zero:

$$\frac{1}{2} \theta_0^{-\frac{1}{2}} \sin \beta - \frac{1}{2} \theta_0^{-\frac{3}{2}} \cos \beta = 0.$$

da cui:

$$\theta_0 = \cot \beta.$$

Trattasi effettivamente di un minimo e non di un massimo, perchè il valore trovato, θ_0 , rende positiva la seconda derivata.

Il risultato ottenuto ci dice che, data la direzione dell'asse di sollecitazione rispetto alla direzione degli assi o dei lati del rettangolo di sezione, per realizzare la massima economia di legname, bisognerebbe assegnare a detto rettangolo una forma tale da rendere una delle sue diagonali parallela all'asse di sollecitazione.

In pratica però devesi considerare che, affinchè la trave non abbia tendenza a rovesciarsi, siccome il carico trasmesso alla trave può ritenersi concentrato nel punto di mezzo del lato superiore del rettangolo di sezione, bisogna che la verticale passante per detto punto (risultante dei carichi quando non vi è vento) non esca dal lato di base, ciò che si ottiene, detta α l'inclinazione della falda sull'orizzonte, quando h non abbia un valore superiore a quello dato dalla formula

$$h = \frac{b}{2} \cot \alpha, \text{ da cui } \theta = \frac{h}{b} = \frac{1}{2} \cot \alpha.$$

Ora l'inclinazione media dei tetti pei nostri climi è appunto tale che $\cot \alpha = 2$ e quindi risulterà $\theta = 1$.

Ecco perchè è consigliabile di usare pei listelli e per gli arcarecci (travi parallele alla linea di gronda) la sezione quadrata.

In questo caso il carico fittizio Q' da prendersi a base del calcolo di tali travi sarebbe:

$$Q' = Q (\sin \beta + \cos \beta).$$

(Continua).

FISICA SPERIMENTALE

I RAGGI CATODICI E I RAGGI RÖNTGEN.

Memoria riassuntiva del signor H. POINCARÉ (1).

I. — PRELIMINARI.

La inattesa scoperta del prof. Röntgen, le applicazioni di essa o realizzate o previste, han destato pari curiosità sì tra gli scienziati che tra il pubblico; ma quando da quest'ultimo si domanda ai fisici la vera natura di questa nuova luce, essi debbono confessare la loro ignoranza: perchè, nonostante l'ardore della ricerca spiegato in tutti i laboratori, nonostante le osservazioni accumulate in pochi mesi, non si è fatto in realtà un passo avanti, dal primo giorno. E invero per strappare ai misteriosi raggi il loro segreto, converrebbe poter agire sopra di essi e modificarli; laddove, nel modo stesso che l'argon resiste ai tentativi dei chimici, i raggi X sono ribelli a tutti gli sforzi dei fisici, e proseguono il loro cammino rettilineo senza lasciarsi deviare da nessuno dei mezzi di cui disponiamo.

Rassegnamoci dunque ad ignorare le cause; e del resto non siamo punto obbligati a costruire una teoria, conoscendo bene che le migliori son pure effimere. Ma anche sulle stesse particolarità dei fatti gli osservatori non son ben d'accordo, e certe divergenze sono veramente difficili a spiegarsi. Contuttociò l'importanza del soggetto merita che si riassuma lo stato presente della quistione; pur con la possibilità che una nuova scoperta possa da un momento all'altro cambiar faccia alle cose. E, prima di entrare in discorso, io voglio ricordare alcuni

fatti, notissimi del resto, che pur avrebbero potuto, non far prevedere i nuovi fenomeni or ora scoperti, ma diminuirne un poco il carattere paradossale.

Diverse specie di radiazioni. — Le radiazioni luminose conosciute fin oggi e studiate, le quali, si sa bene, son dovute a vibrazioni trasversali dell'etere, si possono disporre lungo una specie di scala secondo le decrescenti lunghezze d'onda, ovvero i crescenti numeri delle vibrazioni.

In fondo a questa scala stanno le *oscillazioni hertziane*, la cui analogia con le onde luminose è ormai bene stabilita, e che si son potute ottenere con lunghezze d'onde comprese fra 6 metri e 2 centimetri. Vengono dopo, i raggi invisibili infrarossi o calorifici; poi i raggi visibili, rossi, gialli, verdi, blu, violetti; infine i raggi invisibili ultravioletti, che ci si rivelano per la loro azione fotografica. Non ci deve far meraviglia che a questa scala si aggiunga qualche nuovo gradino.

Ed oltre a questo, niente ci prova che l'etere non sia capace di vibrazioni longitudinali, analoghe alle onde sonore nell'aria. Le equazioni di Maxwell, incompatibili con tali oscillazioni, si invocherebbero male a proposito; perchè in tali equazioni si è posto ciò che si è voluto; e non essendosi mai osservate oscillazioni longitudinali, si è voluto esprimere che non ve ne sono. Ma quando l'esperienza ci provasse il contrario, basterebbe cambiar tutto con un tratto di penna.

Si è creduto per un pezzo che la propagazione dell'induzione elettromagnetica fosse istantanea; forse si proverà un giorno che anche l'induzione elettrostatica si propaga con velocità finita, il che porterebbe di conseguenza l'esistenza di ondulazioni longitudinali. Lord Kelvin per risolvere il problema ha proposto delle esperienze ingegnose le quali non sono state ancora fatte.

Trosparenza. — È un fenomeno ovvio che uno stesso corpo non è egualmente trasparente per tutte le radiazioni. Un vetro rosso lascia passare soltanto i raggi rossi, e trattiene i raggi verdi, e appunto per ciò è rosso; il contrario avviene in un vetro verde.

Ma il medesimo vetro perfettamente incolore quindi traversato da tutti i raggi visibili, può essere talora opaco per i raggi calorifici o infra-rossi, e per quelli ultravioletti.

Invece, l'argento che è opaco pei raggi visibili, è abbastanza trasparente per certi raggi ultravioletti, cosicchè si son potuti fotografare degli oggetti chiusi in una scatola di vetro argentato e celati quindi completamente alla vista. E questa è già la *fotografia dell'invisibile*. Se dunque si scoprono dei nuovi raggi, potremo aspettarci che essi traversino certi corpi, i quali noi siamo abituati a considerare come opachi.

Fluorescenza. — Debbo ricordare parimente certi fenomeni pur conosciuti da lungo tempo, ma ai quali le scoperte recenti danno una inaspettata importanza. Intendo del fenomeno della *fosforescenza* o *fluorescenza*; pel quale certe sostanze, dopochè furono esposte alla luce, emettono delle radiazioni, che da se stesse non avrebbero potuto emettere senza ricevere energia dall'esterno. Così il solfuro di zinco, di calcio, e i sali d'uranio.

Un tal fenomeno potrebbe confondersi con una specie di irregolare riflessione della luce eccitatrice, se non fossero le due seguenti circostanze; prima, che lo splendore fosforescente, rimane una frazione (di secondo, dopo l'estinzione della luce eccitatrice; e inoltre, che esso non è generalmente del medesimo colore. E si vedrà più avanti la parte che ha la fluorescenza nei nuovi fenomeni dei quali ora vengo a parlare.

II. — I RAGGI CATODICI.

Immaginiamo di avere un tubo di vetro, contenente aria rarefatta, dentro al quale penetrino due fili metallici terminati ciascuno con un dischetto e funzionanti da elettrodi. Se i due fili vengano posti in comunicazione coi due poli di un rocchetto di Ruhmkorff, si osserveranno fenomeni molto differenti secondo la pressione dell'aria contenuta nel tubo.

Alla pressione ordinaria la corrente non passa, per essere l'aria cattivo conduttore. Se il vuoto è portato fino ad $\frac{1}{1000}$ di atmosfera, si ha il *tubo di Geissler*: la corrente passa; l'intervallo fra i due elettrodi è occupato da una colonna luminosa di un rosso violaceo, talora stratificata; l'elettrodo negativo o *catodo* è circondato da un piccolo spazio oscuro. Se il vuoto è più perfetto, la colonna luminosa diminuisce di lunghezza e lo spazio oscuro si accresce. Quando la pressione sia bastantemente piccola, per esempio $\frac{1}{100000}$ o $\frac{1}{1000000}$ lo spazio oscuro occupa quasi tutto il tubo, e si ha il cosiddetto *tubo di Crookes*, le pareti del quale si illuminano di un bel chiarore verdastro. Se poi il vuoto è fatto anche di più, la corrente non passa più, e tutti i fenomeni spariscono. Si possono dunque distinguere tre gradi di vuoto; il vuoto di Geissler, quello di Crookes e il vuoto isolante.

Che cosa è che nel tubo di Crookes produce la fluorescenza? Non certo la corrente elettrica di per se, la quale va da un elettrodo all'altro senza toccare le pareti; ed è manifestò che questo agente eccitatore della fluorescenza si propaga in linea retta dal catodo al vetro,

(1) Questa memoria inserita nell'*Annuaire pour l'an 1897 publié par le Bureau des Longitudes* (Paris, Gauthier-Villars) fu tradotta e pubblicata nella *Rivista Scientifica e Industriale* (Firenze, febbraio 1897) insieme colla *Nota addizionale* direttamente inviata alla medesima Rivista dal chiarissimo Autore.

perchè se sul suo cammino si interpone un corpo solido, questo lo arresta, e un'ombra nera si proietta sulla parete, precisamente come se il catodo fosse un'ordinaria sorgente luminosa.

La propagazione di questo agente incognito non è dunque paragonabile a quella di una corrente fluida o elettrica, che girerebbe attorno agli ostacoli: e neppure a quella del calore nei corpi conduttori: tal propagazione è rettilinea come quella di un raggio luminoso, il che fece dare al fenomeno scoperto da Hittorf e Crookes il nome di *raggi catodici*.

Mediante le ombre prodotte, si può studiare il cammino di questi raggi: talvolta sul loro passaggio anche l'aria si illumina debolmente permettendo di seguire direttamente il loro cammino. Si vede così, che questi raggi emanano dal catodo *perpendicolarmente alla sua superficie*, e non dipendono quindi se non dalla forma e dalla posizione di esso: la posizione dell'*anodo* o elettrodo positivo non pare che abbia influenza alcuna su di essi. Essi accompagnano la scarica elettrica e non possono prodursi senza di essa, pur essendo ben distinti da tale scarica, la quale segue tutt'altro cammino, generalmente una curva fra il catodo e l'anodo.

Deviazione magnetica. — I fenomeni si cambiano quando il tubo sia sottoposto all'azione di un magnete; allora i raggi catodici sono deviati come una corrente elettrica, e cessano di essere rettilinei per curvarsi più o meno.

Inoltre, secondo le osservazioni di Goldstein, se nello stesso tubo vi sono due catodi e i raggi dell'uno passano presso all'altro, vengono deviati come se fossero respinti da questo catodo. Ed altre cause, difficili talora a determinarsi, sopraggiungono spesso a disturbare le leggi semplici or ora enunciate, le quali debbono esser considerate solamente come approssimate.

Fluorescenza. — Il vetro, lo abbiamo visto, diventa fluorescente nel punto dove è colpito dai raggi catodici: l'aria stessa sul loro passaggio si illumina, e bisogna non confondere questo chiaro visibile sul cammino dei raggi coi raggi medesimi: fenomeni questi analoghi perfettamente alla fluorescenza di talune sostanze esposte alla luce. Dunque, e questo è importante per ciò che vedremo, *i raggi catodici producono come i raggi luminosi la proprietà di produrre la fluorescenza*: e si potrebbe aggiungere, che *la possiedono in molto maggior grado*.

Molte sostanze che non sarebbero eccitate dalla luce ordinaria brillano sotto la loro azione: di altre lo splendore è più vivace e dura più a lungo. Così, un semplice pezzetto di creta in un tubo di Crookes, emette una intensa luce; e con certe pietre preziose e terre rare, lo spettacolo diventa veramente splendido. E del resto, solamente per tale loro proprietà i raggi catodici si sono rivelati a noi.

Raggi Lenard. — Il problema entrò in una nuova fase allorché Hertz scopre che i raggi catodici possono attraversare una foglia di alluminio sottilissima, ma pure abbastanza grossa per trattenere la luce ordinaria. Lenard ebbe allora l'idea di fare una piccola finestra nelle pareti del tubo e chiuderla con una tal foglia di alluminio. Senza entrare qui nei particolari, circa la maniera di assicurare l'alluminio al vetro insieme con l'armatura metallica necessaria per mantenere il vuoto nel tubo e sostenere la pressione esterna, è manifesto che con tale artificio i raggi catodici prodotti nell'interno del tubo di Crookes passano traverso la finestra di alluminio ed *escono dal tubo*; cosicchè si potrà studiare la loro propagazione in altri mezzi, per esempio, nell'aria alla pressione ordinaria, o nel vuoto maggiore di quello di Crookes cioè nel *vuoto isolante*. In tali mezzi che sono isolanti e si oppongono alla scarica elettrica, tali raggi non potrebbero naturalmente prodursi, ma possono però propagarsi.

Nel vuoto la loro propagazione è rettilinea, spesso per grandi lunchezze, e sono deviati dalla calamita. Nell'aria alla pressione ordinaria, essi si diffondono in tutti i versi, nel modo stesso che la luce in un mezzo traslucido, come per esempio il latte. Quindi a pochi centimetri dalla finestra di Lenard non si distinguono più, e questo non ha permesso di studiare l'azione della calamita sopra di essi.

Eterogeneità dei raggi catodici. — Nel modo medesimo che vi hanno raggi luminosi di varii colori, vi sono più specie di raggi catodici, diversamente deviati dalla calamita. I lavori di Lenard e soprattutto una recente esperienza di Birkeland non lasciano più alcun dubbio su questo punto.

Teorie dei raggi catodici. — Sulla spiegazione di tali fenomeni si è ancora assai discorsi. In Inghilterra si è adottata una teoria che ricorda quella dell'*emissione* in ottica. Il tubo, si dice, è pieno di aria rarefatta: le molecole a contatto del catodo si caricano negativamente e ne vengono respinte violentemente, tanto da acquistare una notevole velocità e percorrere un buon tratto in linea retta, senza che il mezzo molto rarefatto opponga loro ostacolo. Queste molecole elettrizzate bersagliano la parete opposta del tubo e vi destano la fluorescenza. Questa corrente materiale è al tempo stesso una corrente elettrica, perchè tutte le molecole sono elettrizzate e trasportano con sé dell'elettricità: quindi, come ogni corrente elettrica, sarà deviata dalla

calamita. La deviazione magnetica si spiega facilmente; meno bene si spiega la piccolezza della deviazione elettrostatica.

I Tedeschi, invece, preferiscono vedere nei raggi catodici un fenomeno ondulatorio per alcuni, essi sarebbero della luce ultra-ultravioletta, cioè di brevissima lunghezza d'onda; sebbene per la deviazione magnetica e la piccola velocità di propagazione (200 km. al 1^o. secondo J. Thomson) sembrerebbero ben distinti dalla luce ordinaria. Altri cercano l'intervento di vibrazioni longitudinali dell'etere o di altro mezzo ignoto.

La teoria inglese per un pezzo in onore, era stata abbandonata dopo le esperienze di Lenard: perchè non si poteva ammettere che le molecole gassose traversassero l'alluminio; e, che i raggi catodici si propagassero in un vuoto quasi assoluto pareva una obbiezione inconfutabile. Pur tuttavia questa teoria ha in seguito riguadagnato terreno, in grazia di una serie di nuove esperienze in contraddizione con quelle di Hertz, e dalle quali Perria ha concluso che i raggi catodici sono sempre accompagnati da un trasporto di elettricità negativa.

III. — RAGGI RÖNTGEN.

Il prof. Röntgen, avendo chiuso un tubo di Crookes in una scatola di cartone nero, e lavorando all'oscuro, osservò che uno schermo fluorescente di platino-cianuro di bario si illuminava quando il tubo entrava in azione. Questa fluorescenza non poteva venire eccitata dalla luce verde delle pareti del tubo, la quale infatti non poteva traversare la scatola di cartone; e l'illustre fisico ne concluse l'esistenza di un nuovo agente capace di traversare il cartone e di eccitare la fluorescenza di certi corpi. Egli aveva scoperto i raggi X: li aveva scoperti per uno di quei casi fortunati che forse capitano a noi tutti di quando in quando e a nostra insaputa, ma dei quali solo gli ingegni più illuminati sanno approfittare.

Röntgen verificò ben presto che questi nuovi raggi traversano tutti i corpi, molto meglio della luce ordinaria. Tutte le sostanze non trasparenti per essi, ma in grado differente: il legno, il diamante, la maggior parte delle sostanze organiche sono trasparentissime; la carne è più trasparente delle ossa, e su tale differenza sono fondate importanti applicazioni delle quali diremo più avanti: il vetro di Boemia è molto più trasparente del cristallo; finalmente fra i metalli, è assai trasparente l'alluminio, mentre il piombo e il platino sono quasi opachi.

I corpi relativamente opachi posti sul tragitto dei raggi X proiettano sullo schermo fluorescente delle ombre che permettono di seguire il loro cammino, nel modo stesso che abbiamo visto sopra, per i raggi catodici. E si osserva, allora, che questo cammino è rettilineo come quello dei raggi luminosi, il che giustifica il nome di raggi dato al nuovo fenomeno.

Azione fotografica. — I raggi Röntgen impressionano una lastra fotografica, coperta da una carta nera; ecco l'origine delle più importanti applicazioni di queste radiazioni e in pari tempo il mezzo più comodo per studiarle.

Ma ecco un primo problema. I raggi X agiscono direttamente sulla lastra fotografica? oppure, poichè essi sono capaci di eccitare la fluorescenza, è la luce fluorescente da essi prodotta nel vetro o nella gelatina, che dà origine all'azione chimica? Non si può rispondere con sicurezza, ma la prima ipotesi pare la più probabile.

Il problema si complica poi per ciò che concerne i raggi catodici, i quali, come ha mostrato Lenard, hanno eguale azione sopra la gelatina fotografica. I raggi catodici non solo eccitano la fluorescenza, ma danno origine ai raggi X, che alla loro volta possono generare la fluorescenza. Quindi possiamo domandarci, se sono gli stessi raggi catodici che agiscono sulle lastre fotografiche, oppure, i raggi X o i raggi luminosi che ai primi si accompagnano.

Emissione dei raggi X. — Tutti conoscono la camera oscura; cioè, una cassetta opaca con un piccolo foro praticato nella parete anteriore, per cui tutti gli oggetti esterni luminosi o illuminati vengono a proiettare la loro immagine nel fondo opposto. Se si opera così per i raggi X con una cassetta di sostanza opaca per tali raggi, ponendo nel fondo una lastra fotografica involtata in carta nera, i punti esterni che emettono radiazioni Röntgen, verranno a formare la loro immagine sulla lastra, ed avremo così l'immagine della sorgente; sapremo quindi *di dove i raggi X si partono*.

Si trova in tal modo, che i raggi X emanano dalla regione del tubo colpita dai raggi catodici, quella stessa che brilla per fluorescenza di luce verdastra. Sotto l'urto dei raggi catodici essa emette insieme raggi luminosi verdi e raggi Röntgen invisibili; e i due fenomeni sono del medesimo ordine.

L'emissione dei raggi X è una vera fluorescenza; e se i raggi catodici li producono così facilmente, ciò dipende appunto dall'aver essi un eccezionale potere eccitatore. Tuttavia è necessario distinguere: *tutti i corpi solidi colpiti dai raggi catodici emettono dei raggi X*, mentre non tutti divengono fluorescenti: così il platino, ad esempio, non produce affatto luce visibile, ma emette facilmente dei raggi Röntgen.

Riflessione. — I raggi luminosi possono deviare dal loro cammino per la riflessione e la rifrazione; i raggi catodici possono esser deviati dalla calamita: i raggi Röntgen, invece, non si è potuto farli deviare dal loro cammino rettilineo.

I raggi X non si riflettono. Si son viste è vero tracce di riflessione, ma non si tratta di riflessione regolare con l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione. Una superficie colpita dai raggi X li rimanda egualmente in tutte le direzioni in piccolissima quantità.

Veramente io non credo che avvenga proprio così. Questa riflessione irregolare non si produce soltanto alla superficie di separazione dei due mezzi; le molecole interne di un corpo trasparente rimandano egualmente dei raggi riflessi in tutti i versi, e la prova sta nel fatto che il vetro pestato non è più opaco del vetro omogeneo. Non si tratta dunque di una vera riflessione, ma di una specie di fluorescenza.

I raggi X non si rifrangono. Perrin ha creduto di osservare con un prisma d'alluminio una debolissima deviazione (con indice minore di 1) ma questa osservazione è contraddetta da Gouy, e bisogna aspettare nuove esperienze.

Infine i raggi X non sono deviati dalla calamita: il che prova che essi non sono raggi catodici, ma che ne differiscono tanto, quanto la luce verde suscitata dai raggi catodici sopra il vetro.

Diffrazione. — Le ombre della luce ordinaria non presentano contorni netti, ma su di essi si posson vedere delle linee alternativamente brillanti e oscure, cioè le *frangie di diffrazione*. Si vedono facilmente esaminando l'ombra proiettata da un filo finissimo oppure facendo passare la luce traverso ad una strettissima fessura. Tali frangie son tanto più fini e quindi difficili a osservare quanto più breve è la lunghezza d'onda luminosa, quanto più larghi sono il filo e la fessura.

In vano si son cercati tali fenomeni nei raggi X; sia perchè essi non abbiano carattere vibratorio, sia perchè la loro lunghezza d'onda sia troppo piccola. Kümmell in Germania e Calmette in Francia hanno ottenute apparenze di diffrazione dalle quali han dedotto lunghezze d'onda di mm. 0,003; molto più grandi, quindi, di quelle della luce. Ma avendo essi adoperato fessure molto più larghe, che gli osservatori i quali non han nulla veduto, si può domandare se non si debba ricercare un'altra causa ai loro risultati.

Polarizzazione. — Neppure si è potuto polarizzare i raggi X, i quali, poichè non si riflettono nè si rifrangono, non potevano essere studiati se non mediante un solo mezzo: quello della tormalina.

Si sa che un raggio di luce ordinaria può esser considerato come la sovrapposizione di due raggi polarizzati ad angolo retto. Quindi una tormalina posta in una certa maniera tratterrà la prima componente e lascerà passare la seconda; avverrà il contrario se la tormalina verrà girata di 90 gradi. Due tormaline incrociate arresteranno tutte e due le componenti e appariranno opache; poste parallelamente non ne arresteranno che una sola e sembreranno trasparenti.

L'esperienza non riesce coi raggi Röntgen, sia perchè essi non possono polarizzarsi, sia perchè la tormalina non agisce su di essi come sulla luce; il che non deve parere straordinario, perchè essi sembrano differire assolutamente dai raggi luminosi per ciò che concerne la trasparenza. Solo il principe Galitzine ha creduto di osservare delle leggere differenze; ma occorrono anche per risolvere questa questione delle nuove esperienze.

Azione elettrica. — L'azione elettrica dei raggi X è una delle più importanti loro proprietà, e quella che è anche meglio studiata. Ma essendo altresì quella che ha dato occasione alle maggiori controversie, sulle quali non posso qui trattenermi, debbo limitarmi a esporre i fatti che mi parvero più accertati.

Si sa che la luce ultravioletta facilita lo scoccare della scintilla elettrica. Similmente i conduttori elettrizzati si scaricano rapidamente quando sono esposti ai raggi Röntgen.

Si era supposto che sotto l'influenza delle radiazioni ultraviolette la superficie dell'elettrodo si disgregasse e che il pulviscolo degli strati superficiali diventasse il veicolo dell'elettricità. Tale spiegazione, o vera o no che essa sia, non vale certamente per i raggi X, perchè essi possono agire senza incontrare la superficie del conduttore.

Ci si può domandare, se alcune sostanze ordinariamente isolanti non divengano conduttrici quando sono attraversate dai raggi Röntgen. Così agiscono i raggi luminosi sul selenio; e altrettanto fanno anche i raggi X.

Ma vi è qualche cosa di più. Non solo l'aria cessa di essere isolante nei punti dove è attraversata dai raggi X, ma *lungo tutte le linee di forza elettrica* che sono incontrate dal fascio di questi raggi. Perrin è riuscito a scaricare un conduttore facendo passare un fascio di raggi Röntgen a 40 cm. dalla sua superficie.

E l'aria modificata da tali radiazioni conserva per qualche tempo la nuova sua proprietà, continuando a scaricare i corpi elettrizzati, anche dopo che il tubo Crookes ha cessato di agire.

I raggi X non esercitano tale azione che sopra i gas; secondo la maggior parte delle esperienze fatte, essi non avrebbero alcun'azione sopra i dielettrici solidi e liquidi.

In sostanza avviene come se, sotto l'azione dei raggi Röntgen, ogni molecola gassosa si decomponesse in due atomi o ioni, caricati l'uno positivamente, l'altro negativamente; e, nel campo elettrico, l'uno attirato dal conduttore negativo, l'altro dal conduttore positivo, andassero, lungo le linee di forza, a neutralizzare le cariche dei due conduttori.

Eterogeneità dei raggi X. — È probabile che vi siano raggi X di più specie. Noi siamo in presenza di un mondo sconosciuto del quale non immaginiamo la varietà; come avverrebbe di un uomo incapace a distinguere i vari colori, in faccia alla luce ordinaria. I mezzi di analisi della luce bianca, il prisma e il reticolo, non servono per i raggi Röntgen, ribelli alla rifrazione e alla diffrazione.

Ma se vi sono raggi X di diverse specie, alcune sostanze potranno essere trasparenti per le une e non per le altre. Questo è il solo mezzo per cui potremo distinguerli e separarli.

Su questo punto resta ancora quasi tutto da fare. Intanto però Porter ha constatato delle differenze ben nette. Per certi raggi la carne è trasparente, per altri quasi opaca come le ossa: i primi emanano dal tubo di Crookes alle temperature ordinarie, i secondi sopra 20° o 25°. Son da ricordarsi in proposito anche le osservazioni del Röntgen e quelle precedenti di Benoit e Hurmuzescu.

IV. — APPLICAZIONI DEI RAGGI X.

Questa nuova radiazione traversa i corpi opachi; ecco la proprietà che ce la rendono preziosa, e l'origine delle più svariate applicazioni. Non manca altro che se ne serva il direttore del Laboratorio municipale per esaminare senza pericolo le macchine degli anarchici.

Ma le più importanti sono le applicazioni mediche, e si comprende facilmente quanto vantaggio possa ricavare il chirurgo da un mezzo che gli permette di vedere lo scheletro quasi come se la carne non ci fosse, e gli fa trovare un proiettile penetrato nell'interno del corpo.

Tuttavia, dopo i primi entusiasmi, molti medici si sono un poco scoraggiati per il troppo lungo tempo della posa: venti minuti per una mano, tre quarti d'ora per un braccio. Pareva che non si dovesse mai arrivare a traversare tutto lo spessore del corpo; ma i nuovi e necessari progressi furono fatti.

Si è studiato di aumentare l'intensità per diminuire la durata della posa; e si è ottenuto scegliendo convenientemente la forza del rocchetto e la temperatura. Si è cercato inoltre qual fosse la pressione più acconcia, la quale del resto dipende dalle dimensioni del tubo. Si è tentato di mettere sulla lastra fotografica uno schermo fluorescente che, reso luminoso dai raggi X agisce direttamente sulla gelatina bromura accelerando l'azione fotografica.

Ma non basta l'intensità; occorre soprattutto la nettezza del disegno, e qui si presenta subito una difficoltà. L'obiettivo fotografico concentra sopra ogni punto della lastra tutti i raggi luminosi provenienti dal punto corrispondente dell'oggetto, e si ha quindi sulla lastra un'immagine reale di quest'oggetto.

Nulla di simile avviene coi raggi Röntgen, che non si riflettono, e coi quali non si ha una vera immagine, ma solamente delle *shouettes*, delle ombre chinesi, che non si possono mettere in fuoco.

L'ottica geometrica c'insegna che ogni ombra è circondata da una penombra la quale è tanto più stretta e tanto più netti ha i contorni, quanto più piccola è la sorgente luminosa, quanto minore è la distanza fra la sorgente e l'oggetto e quanto maggiore quella fra l'oggetto e lo schermo. Or coi raggi Röntgen non è possibile accrescere molto la prima distanza, nè diminuire a volontà la seconda, se si vuole traversare con essi uno spessore un po' considerevole. Non resta quindi che restringere quanto è possibile le dimensioni della sorgente.

La sorgente dei raggi X è la regione del tubo colpita dai raggi catodici; bisogna dunque concentrare i raggi catodici sopra uno spazio della parete più piccolo che sia possibile. Per ottenere questo si dà al catodo la forma di una calotta sferica, e allora i raggi catodici partendo in direzione perpendicolare a questa superficie vanno a convergere al centro della sfera, il quale corrisponde sulla parete di vetro. Si è potuto impiegare anche la calamita, che devia i raggi catodici; quindi, se il campo magnetico non è uniforme, taluni di questi raggi saranno deviati di più, e un fascio parallelo potrà diventare convergente.

Ma su questa via non si può procedere troppo oltre, perchè, sotto l'urto dei raggi catodici, il vetro si riscalda, perde la sua proprietà fluorescente, e finisce col rammollirsi e sfondarsi. Per rimediare a questo inconveniente, si è posto il vetro in un vaso di celluloido riempito d'acqua, essendo l'acqua e il celluloido trasparentissimi per i raggi X.

Tubi focus. — Ma il vero mezzo di evitare quest'inconveniente è quello di adoperare il così detto « tubo focus », nel quale il catodo ha la forma di uno specchio sferico concavo, e l'anodo è una placca piana di platino posta al centro della superficie sferica dello specchio. Il platino emette allora raggi X, non perchè fa da anodo, ma perchè è sotto l'influenza dei raggi catodici. Certamente l'emissione è più intensa quando il platino fa da anodo, perchè il fascio catodico lo col-

pisce più violentemente. Col platino non son da temere gli effetti nuovi del riscaldamento.

Ma non si deve credere che i raggi catodici emananti dello specchio concavo vengano riflessi dall'anodo come da uno specchio piano. In tal caso essi sarebbero riflessi secondo una sola direzione, secondo le leggi della riflessione; mentre invece essi sono rimandati in tutti i versi. Un corpo incandescente emette luce in tutti i versi, ma più nella direzione normale che in quelle oblique. Similmente, Gouy ha mostrato che l'anodo di platino emette raggi X in tutte le direzioni.

Se si considera dunque la lamina di platino sotto un'incidenza molto obliqua, essa non emetterà che un fascio sottilissimo di raggi Röntgen, e, poichè la sua intensità totale rimane la medesima che sotto l'incidenza normale, la sua « densità » sarà molto più grande. Con una lamina incandescente che emette della luce ordinaria succederebbe diversamente; il fascio sarebbe tanto più stretto quanto più obliqua l'incidenza; ma diminuirebbe l'intensità totale rimanendo costante la densità. Nel modo sopra detto si può avere una sorgente di raggi X intensissima e strettissima.

Tale fatto scoperto da Gouy e apparentemente paradossale, ha la sua semplicissima spiegazione geometrica in questo: che la trasparenza del platino per i raggi Röntgen eccitati, sebbene leggerissima, è molto più grande che per i raggi catodici eccitatori.

Con tutti questi perfezionamenti si è potuto ridurre il tempo di posa a pochi minuti o anche ad alcuni secondi. Si sono costruiti anche dei tubi « focus » di forma sferica e non in vetro, ma in metallo e in parte di alluminio sottile. L'anodo piano è posto al centro e l'intera sfera funziona da catodo. Con tali tubi si può, sembra, illuminare uno schermo fluorescente ad una distanza di dieci metri, attraverso lo spessore di un metro di legno.

Criptoscopia. — Si è utilizzata anche la visione diretta senza fotografia per mezzo di uno schermo fluorescente. L'apparecchio chiamato *criptoscopia* non è altro che la riproduzione della prima esperienza di Röntgen, e di nuovo non v'è che il nome. Si è però cercato di porre altre sostanze in luogo del platino-cianuro di bario, e quella che dà i migliori risultati pare sia il tungstato di calcio preparato in un certo modo.

V. — TEORIE DEI RAGGI X.

Teoria ultravioletta. — Tutte le teorie proposte fin qui non sono altro che ipotesi, nessuna delle quali è fondata sopra basi sicure.

Quelli che considerano i raggi Röntgen come luce ultravioletta, dovrebbero essere imbarazzati, sembrerebbe, a spiegare la mancanza della rifrazione; perchè i raggi violetti sono i più rifrangibili dello spettro, quelli ultravioletti lo sono ancora più; quindi, se la progressione continuasse, i nuovi raggi dovrebbero soffrire una grandissima rifrazione.

Ma secondo certe teorie della dispersione, per esempio quella di Helmholtz, l'indice di rifrazione, dopo essere cresciuto col numero delle vibrazioni, decresce rapidamente e termina col divenire vicinissimo all'unità. Non vi è dubbio che questa deduzione non sia un'arditissima extrapolazione delle formule di Helmholtz; tuttavia può provare che l'ipotesi per lo meno non è assurda. Più oltre vedremo l'appoggio che alla teoria ultravioletta ha portato la scoperta dei raggi Becquerel.

Teoria longitudinale. — Si è supposto anche che i nuovi fenomeni fossero dovuti a vibrazioni longitudinali dell'etere. Tale teoria acquisterebbe una certa probabilità, se le esperienze di Kümmel sulla diffrangibilità fossero confermate. La lunghezza d'onda sarebbe la medesima che quella delle onde trasversali ultrarosse; quindi se i raggi Röntgen fossero trasversali, dovrebbero essere identici a queste onde e possedere le medesime proprietà. Siccome questo non è, si dovrebbe concluderne che essi sono longitudinali. Invece se venissero confermati i risultati del principe Galitzine sopra la polarizzazione, dovremmo concludere per la trasversalità e adottare la teoria ultravioletta.

Teoria vorticosa. — Michelson attribuisce i raggi Röntgen a movimenti vorticosi dell'etere; per cui non avrebbero alcun carattere vibratorio o periodico.

Teoria dell'emissione. — Finora noi abbiamo sempre ammesso che i raggi Röntgen, sebbene prodotti dai raggi catodici, ne differiscono tanto quanto la luce verde che è pure un altro effetto: possiamo quindi cercare la spiegazione dei raggi Röntgen senza occuparci di ricongiungerla con quella degli altri fenomeni che accompagnano la scarica nel vuoto di Crookes.

Tuttavia vi sono opinioni differenti: parecchi inglesi, fra gli altri Lodge, sarebbero inclinati a credere che i raggi X non siano altro che raggi catodici modificati.

Secondo essi, nel vuoto di Crookes le molecole gassose elettrizzate camminerebbero con grande velocità, e potrebbero attraversare il vetro ed uscire dal tubo, rimanendo però spogliate della loro carica. Il raggio catodico, che è corrente di materia elettrizzata, sarebbe deviato dalla calamita come una corrente elettrica; mentre non lo sarebbe il raggio X, semplice corrente di materia senza elettricità.

Effetto Lafay. — Se fosse così, sarebbe possibile rendere i raggi X sensibili all'azione magnetica, restituendo loro la carica. E l'esperienza di Lafay a prima vista sembrerebbe confermare questo modo di vedere.

Se si fa passare un fascio di raggi Röntgen attraverso ad una lamina di alluminio sottilissima ed elettrizzata, questo fascio diventa suscettivo di esser deviato da un campo magnetico. Ma in realtà avviene lo stesso, sia che il fascio incontri il campo magnetico dopo la lastrina elettrizzata, o prima di essa. Il fatto non è dunque la conferma della teoria dell'emissione, perchè la teoria non può spiegare come la calamita possa agire sopra molecole che stanno per essere elettrizzate ma che non lo sono ancora.

Bisogna ricorrere ad altra spiegazione. I raggi X, lo abbiamo visto, rendono l'aria conduttrice, e se essi incontrano un corpo elettrizzato, si produrranno delle correnti elettriche sul loro passaggio, le quali quando siano deviate dalla calamita pare che trascinino con sé anche i raggi stessi per un meccanismo che è ancora ignoto. Ma bisogna anche dire che l'esperienza di Lafay è contestata dal Lodge.

I raggi Lenard e i raggi Röntgen. — Insomma, per ora bisogna ammettere che i raggi Lenard sono raggi catodici esciti fuori del tubo, e che i raggi Röntgen sono tutt'altra cosa.

È certo che Lenard colla sua esperienza ha dovuto ottenere anche dei raggi Röntgen, che a sua insaputa sono venuti a complicare i suoi risultati, senza che egli abbia potuto riconoscerne l'influenza. Tuttavia i fenomeni che egli descrive sono differentissimi da quelli ordinari di queste radiazioni, e bisogna credere che si tratti d'altro.

I raggi X emanano dal vetro non solo lungo il prolungamento del raggio catodico eccitatore, ma in tutte le direzioni.

I raggi Lenard si comportano egualmente nel traversare la finestra di alluminio, che, pare, li diffonda in tutti i versi. Ma, tolto questo, vi è completa differenza. I raggi Lenard sono deviabili dalla calamita, e i raggi Röntgen non lo sono punto, sia nel vuoto, sia alla pressione ordinaria. Quasi tutti i corpi assorbono e *soprattutto diffondono* i raggi Lenard, i quali però si arrestano nell'aria dopo pochi centimetri, mentre i raggi Röntgen si propagano nell'aria senza assorbimento sensibile e senza *diffusione*.

VI. — ALTRE NUOVE RADIAZIONI.

I raggi Becquerel. — Il medesimo agente, il raggio catodico produce due differenti manifestazioni, la fluorescenza visibile e i raggi X. Si può dunque cercare, se fra l'uno e l'altro effetto vi è qualche relazione; se le circostanze che producono l'uno non favoriscono anche l'altro; se, infine, i corpi più vivacemente fluorescenti emanano qualche cosa di analogo ai raggi Röntgen.

Dopo una prima esperienza di Ch. Henry sopra il solfuro di zinco, H. Becquerel studiò i sali d'uranio. Un cristallo di sale d'uranio, posto sopra una lastra fotografica coperta di carta nera, l'impressione anche attraverso certi corpi considerati generalmente come opachi.

Un tale cristallo che non dà fluorescenza visibile se non dopo essere stato esposto alla luce, e perde il suo splendore una piccola frazione di secondo dopo l'estinzione della luce eccitatrice, emette, invece, i nuovi raggi nell'oscurità e l'emissione continua per lunghe ore senza sensibile diminuzione. Non è neppure certo che la luce aumenti l'intensità del fenomeno.

Pare che questi corpi abbiano accumulato in sé, dal tempo nel quale si sono formati, una provvista d'energia che essi dispensano poi sotto forma di *raggi Becquerel*; provvista che la luce ed altri agenti fisici non possono rinnovare, ma che si esaurisce lentissimamente. Viceversa, l'energia dispensabile in forma di luce visibile si esaurisce rapidamente ma può essere rinnovata dagli agenti esterni.

Risultati non meno curiosi si ottennero col solfuro di calcio e col solfuro di zinco. M. Troast, col solfuro di zinco preparato di fresco, ha ottenuto dei risultati eccellenti; ma in capo a qualche giorno il suo solfuro aveva perduto tutte le sue proprietà. Anche qui la provvista iniziale d'energia si era esaurita, nè poteva più rinnovarsi.

I sali d'uranio la conservano molto di più, quasi indefinitamente. L'uranio metallico è attivissimo benchè non dia fluorescenza visibile.

Proprietà dei raggi Becquerel. — I raggi Becquerel s'avvicinano ai raggi Röntgen per certe proprietà: essi traversano corpi opachi alla luce ordinaria, hanno azione sulle lastre fotografiche, e scaricano i corpi elettrizzati.

Però, per certe altre proprietà se ne allontanano; essi si riflettono, e sono polarizzati dalla tormalina; proprietà quest'ultima che non può appartenere se non ad ondulazioni trasversali. Quindi i *raggi Becquerel sono raggi luminosi*.

Considerando quindi le loro analogie coi raggi Röntgen, si è inclinati a pensare che essi formino il passaggio tra la luce ordinaria e i raggi Röntgen, e che questi ultimi non debbano le loro singolari proprietà che alla loro brevissima lunghezza d'onda, come suppongono i fattori della teoria ultravioletta.

Effetti dell'effluvio. — Non potremmo tacere delle esperienze di Mareau e di Lord Blythwood, i quali con l'effluvio elettrico e con la scintilla, senza impiegare il tubo di Crookes, hanno ottenuto effetti analoghi a quelli dei raggi Röntgen.

Le ipotesi più naturali sono, che l'azione fotografica sia dovuta alla luce di qualche scintilla secondaria, o che il sale d'argento venga decomposto non da vere radiazioni, ma da correnti elettriche traversanti la gelatina. Tuttavia Lord Blythwood ha potuto avere impressioni sopra una lastra contenuta in una scatola metallica assolutamente chiusa, con una piccola finestra di alluminio sottile. Con questo si dovrebbero escludere le due ipotesi indicate sopra, e bisognerebbe ammettere che la scintilla, anche alla pressione ordinaria, comunica all'aria una fluorescenza invisibile analoga a quella che produce i raggi X.

I raggi Le Bon. — M. Le Bon rinchioda dentro uno *châssis* metallico una negativa e una carta sensibile ed espone il tutto alla luce di una sorgente qualunque.

Dopo parecchie ore di posa si ottiene sulla carta una positiva. Tale azione sarebbe dovuta ad un nuovo agente: *la luce nera*.

Alcuni sperimentatori hanno ripetuto con buon successo le esperienze di Le Bon; altri non vi sono riusciti e hanno creduto che lo scopritore sia stato ingannato da qualche errore e che per una fessura dello *châssis* sia penetrata la luce esterna. Comunque sia, è certo che questa esperienza non è ancora ben chiara: e di fronte a queste contraddizioni mi conviene essere ancor più circospetto.

I raggi Le Bon, se esistono, non debbono considerarsi come elementi della luce bianca, che si propaghino con essa per traversare poi le placche metalliche: è più probabile che essi siano eccitati dalla luce stessa nella sostanza del metallo per una specie di fluorescenza. M. d'Arsonval spiega in tal modo le contraddizioni dei vari sperimentatori, e si comprenderebbe, infatti, che una placca metallica esposta al sole possa conservare per qualche tempo la proprietà di emettere luce nera. Ma si può parlare di veri raggi di luce nera? Secondo certe esperienze di Le Bon, ancora incomplete, questa radiazione non sarebbe trattenuta dagli ostacoli, non li traverserebbe, ma li circonderebbe. Il suo cammino non sarebbe insomma rettilineo, e volendola paragonare con delle onde, non sarebbe possibile se non con onde di grandissima lunghezza; ma veramente essa si comporterebbe piuttosto come una corrente elettrica nell'interno di un conduttore.

Dobbiamo dunque riavvicinare questo effetto a quelli dell'effluvio elettrico di cui già abbiamo parlato, ovvero all'azione dei vapori metallici sulle lastre fotografiche, osservati già da Pellet e Colson? finché è contestata la realtà di questo fenomeno, è oziosa la discussione; ma sembra che la luce nera traversi i metalli meglio dei raggi Röntgen, ma che invece sia trattenuta dalla carta nera.

Per terminare, debbo ricordare certe radiazioni invisibili emesse da alcune sostanze organiche, specialmente da quelle che emettono luce visibile per fosforescenza.

Riassunto. — Finora il capitolo della fluorescenza e fosforescenza rimaneva isolato e come relegato in un angolo nei trattati di fisica: sembrava che la via per la quale si era messo Becquerel, dovesse terminare in un « cul-de-sac ». Oggi, invece, è lecito credere che essa sia per aprirci l'adito ad un mondo tutto nuovo del quale non si sospettava l'esistenza.

Accanto alla fluorescenza visibile noi abbiamo ora quella invisibile. I corpi che emettono raggi Becquerel, eccitati dalla luce, emettono altri raggi luminosi. I raggi catodici suscitano i raggi Röntgen, ed anche producono la fluorescenza luminosa. I raggi Röntgen alla loro volta producono la fluorescenza visibile e probabilmente anche altre radiazioni invisibili.

Tutti questi fatti senza dubbio saranno un giorno spiegati e collegati ad un'unica causa; altri ancora verranno ad aggrupparsi intorno ad essi e a completare il quadro del quale noi cominciamo a intravedere le linee di abbozzo.

APPENDICE.

Così scrivevo nel settembre 1896. Dopo quel tempo son venuti alla luce lavori importanti, i quali non hanno modificato gran fatto le nozioni che si avevano di questi fenomeni, ma che non si debbono passare sotto silenzio.

Rifrazione. — Gouy aveva ottenuto risultati negativi; Perrin, invece, aveva creduto di osservare una leggera rifrazione. La causa dell'errore di Perrin è ora scoperta, e si può affermare che i raggi X non si rifrangono.

Diffrazione. — A proposito delle esperienze di Kümmel e Calmette, ho detto che occorre dare una nuova spiegazione dei loro risultati. Tale spiegazione pare che Sagnac l'abbia trovata: e si può concludere con sicurezza maggiore di qualche mese fa, che i raggi X non presentano né rifrazione, né diffrazione.

Eterogeneità dei raggi X. — Questo problema è stato oggetto di numerose e sistematiche ricerche, specialmente in Italia. L'eterogeneità dei raggi X è ora fuori di questione, e senza dubbio sarà l'origine di varie applicazioni.

Criptoscopia. — La visione diretta dei raggi X per mezzo di uno schermo fluorescente ha recentemente fatto dei notevoli progressi. In grazia delle cure con le quali si fanno oggi questi schermi, si può distinguere lo scheletro di una mano posta fra lo schermo e il tubo. La posa fotografica non è più necessaria, e il medico può vedere le ossa muoversi sotto i suoi occhi. I raggi X possono traversare anche il torace, e si vede sullo schermo l'ombra delle ossa del tronco e l'ombra più chiara delle masse muscolari; si può fino veder battere il cuore.

Raggi Lenard. — Perrin ha dimostrato che le cariche elettriche, che i raggi catodici trasportano con sé, traversano insieme con essi la finestra d'alluminio nell'uscire dal tubo, come nell'esperienza di Lenard. I raggi Lenard si distinguono dunque molto bene dai raggi Röntgen, coi quali spesso si potrebbero confondere.

Raggi Becquerel. — Una nuova analogia dei raggi Becquerel coi raggi X è stata da poco messa in chiaro. L'aria traversata dai raggi Becquerel, come quella traversata dai raggi X *conserva per qualche tempo* la proprietà di scaricare i corpi elettrizzati.

Parigi, 30 gennaio 1897.

H. POINCARÉ.

NOTIZIE

L'utilizzazione delle cascate di Rheinfelden. — Vicino a Basilea il Reno forma le cascate di Rheinfelden, che sono celebri ovunque per la loro bellezza.

Due anni or sono, parecchie persone intraprendenti, fra le quali si contavano i più celebri ingegneri e finanzieri svizzeri e tedeschi, formarono una Compagnia per l'utilizzazione di queste cascate, e fu incaricato il cosciutissimo ingegnere prof. Zschokke, del Politecnico di Zurigo, della esecuzione dell'opera, che nel suo complesso sarà la più importante del genere in Europa.

La considerevole quantità d'acqua (in media 450 metri cubi al secondo) che il Reno trasporta sulle cascate di Rheinfelden, sarà trasformata in una forza di circa 30,000 cavalli, che sarà trasmessa, sotto forma di energia elettrica, a stabilimenti industriali entro un raggio di 32 chilometri.

La prima parte del lavoro è quasi finita, e si prevede che prima del prossimo autunno circa 16,800 cavalli di forza saranno utilizzabili. Per ottenere questo risultato, si è costruito un canale di circa un chilometro di lunghezza e circa 55 metri di larghezza, il quale è parzialmente costruito nel letto del fiume, da cui è separato per mezzo di un muro di 10 m. d'altezza e 6 m. di larghezza alla base.

Per questo muro occorsero 23,550 metri cubi di pietra, la maggior parte dei quali fu scavata dal letto stesso del fiume, che fu dovuto abbassare considerevolmente, mediante innumerevoli mine.

Alla estremità inferiore del canale, diagonalmente ad esso, si trovano i fabbricati che contengono 20 turbine, tutte costrutte dalla conosciuta Ditta Escher Wiss e Comp. di Zurigo, ciascuna delle quali ha la forza di 840 cavalli. Lo stesso fabbricato contiene il macchinario elettrico somministrato in parte dall'Allgemeine Electriche Gesellschaft di Berlino, ed in parte dalla Manifattura di Oerlikon di Zurigo. Mediante un ponte di ferro, l'op-ra che è situata sulla riva tedesca del fiume è congiunta alla riva svizzera. Questo ponte porta altresì i numerosi fili che conducono l'energia elettrica ai vari centri industriali della Svizzera. Più di una metà dell'energia utilizzabile è già presa da Imprese industriali, che sono andate a stabilirsi a Rheinfelden per trarre profitto dell'eccezionale basso prezzo della forza motrice, molto minore del costo del vapore. Alcune grandi fabbriche elettrochimiche sono attualmente in costruzione; esse precluderanno alluminio, clorina, soda e carburo di calcio. Parecchie linee di ferrovie di interesse locale sono pure in costruzione.

(Dal *Bollettino delle Finanze*.)

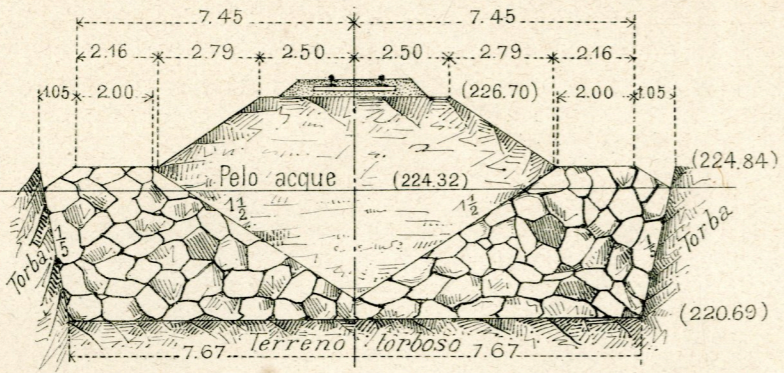
Esplosioni di caldaie a vapore avvenute in Germania nel 1895. — Le statistiche pubblicate in Germania registrano 22 esplosioni di caldaie a vapore avvenute nel 1895 con 74 vittime, di cui 20 morti e 54 feriti. La cifra alquanto elevata delle vittime è dovuta alla esplosione, avvenuta nel porto di Kiel, d'una caldaia di nave da guerra costruita per la China, esplosione avvenuta durante le prove, e che uccise 11 persone.

Dal 1877 al 1894, inclusivamente, si verificarono in Germania 311 scoppi di caldaie con 760 vittime, di cui 246 morti e 514 feriti; donde una media, per questi ultimi 19 anni, di 17,3 casi di esplosione all'anno, con 31,1 vittime, di cui 13,7 morti e 17,4 feriti.

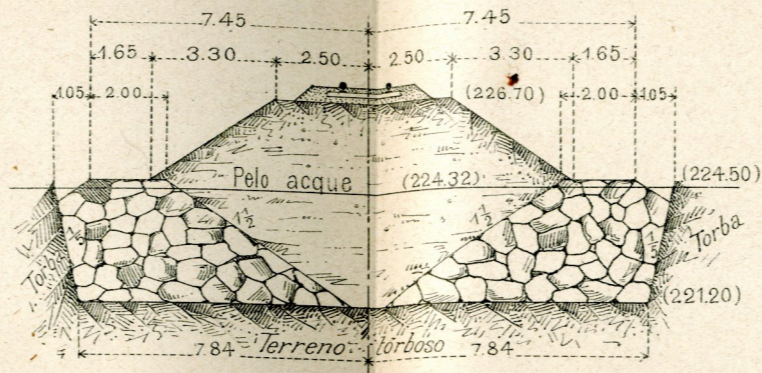
Le cifre per il 1895 sono adunque notevolmente superiori alla media.

(Dalla *Chronique de la Société des Ingénieurs Civils*.)

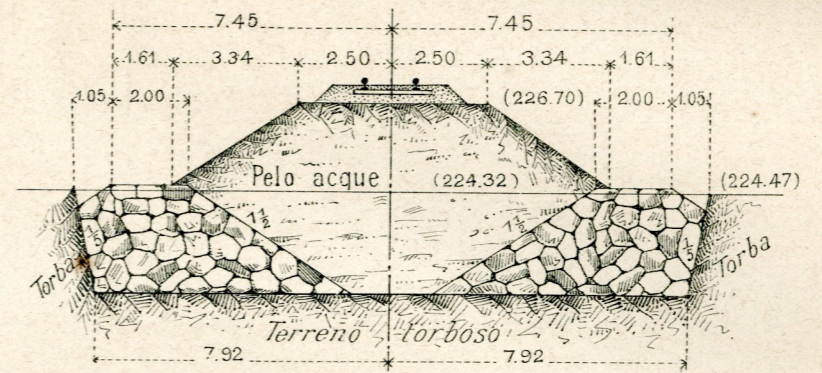
Sezione A.



Sezione B.



Sezione C.

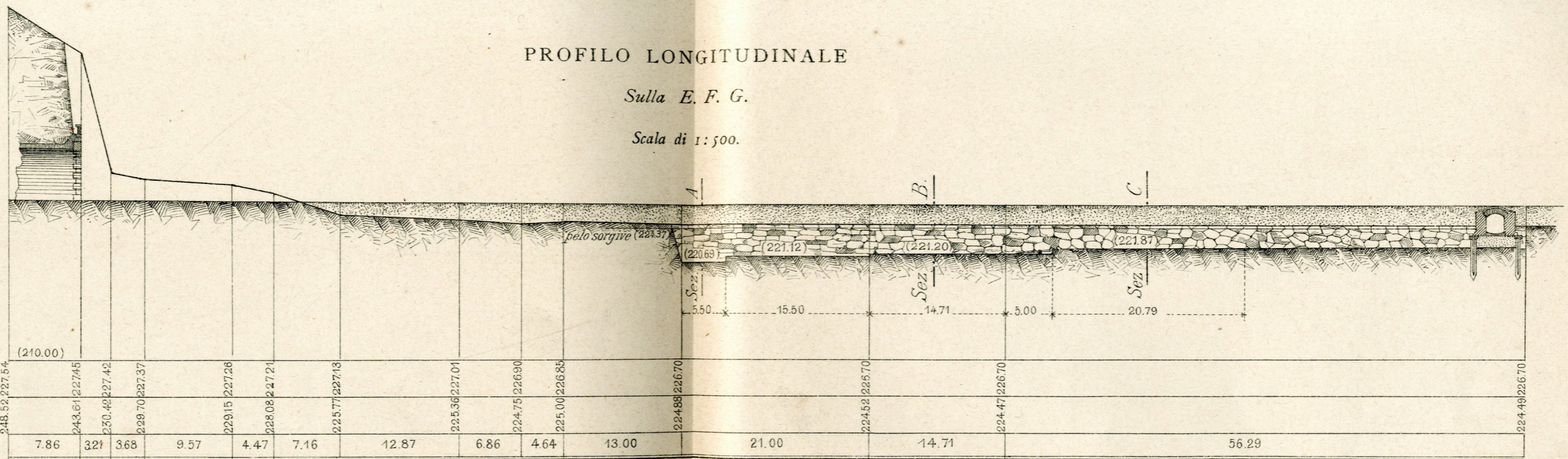


PROFILO LONGITUDINALE

Sulla E. F. G.

Scala di 1:500.

GALLERIA DI S. NAZZARO



PIANTA

a lavoro ultimato.

