

L'INGEGNERIA CIVILE

E

LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

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

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

UNA BUONA MASSIMA DI ALCUNI PRATICI NEL COSTRUIRE I MURI DI SOSTEGNO.

Nota dell'ing. G. G. FERRIA.

Usano alcuni pratici di dare ai muri di sostegno una scarpa di 10° circa contro terra. Scopo della presente nota è di far vedere che, quando si tratti di terreni a naturale declivio, questa regola concorda colla migliore soluzione teorica.

Mi valgo a questo scopo della classica teoria di Boussinesq sulla spinta delle terre, dando prima qualche cenno sulla importanza teorico-pratica di questa teoria.

I.

Il muro di sostegno, che è fra le opere più semplici a costruire, è per contro fra le più difficili a sottoporre a calcolo quando si voglia disciplinarne le modalità alle sue condizioni di equilibrio; perchè queste implicano la conoscenza della spinta della terra sul muro, la quale involge la trattazione di questioni difficilissime di matematica pura.

Da tempo, molti cultori di scienze applicate, pur di facilitare la soluzione del problema, si appagano di teorie largamente approssimate, reggentesi sopra ipotesi più o meno restrittive che, nei limiti delle applicazioni pratiche, ritenevano abbastanza giustificate. Ma alla stregua dei fatti, codeste teorie perdevano molta virtù di persuadere, donde un continuo bisogno di nuovi studi e di nuovi confronti.

Così vennero man mano comparando i lavori analitici del Coulomb (*Académie des Sciences*, 1773), del Poncelet (*Mémoire de l'Officier du Génie*, 1840), del Bélanger (*Dynamique des systèmes matériels*, 1866), del Bresse (*Résistance des matériaux*), del Maurice Lévy (*Académie des Sciences*, 1869), del Considère (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1870, 1873), del Ceradini (*Politecnico*, vol. XXIII), dell'Hétier (*La résistance des matériaux dans les murs de soutènement*, 1885) e di vari altri autori, mentre d'altro canto valenti sperimentatori, come il Rankine (*A manual of applied mechanics*, 1861), il Darwin (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1883), il Gobin (*Ibid.*), l'Audet (*Ibid.*), l'Ardan (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1883, 1884), il Lessigne (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1885), cercavano di estrinsecare, dall'insieme di molte prove, la legge che regge il fenomeno della spinta delle terre.

Così vasta cooperazione di ricerca pareva dover sgombrare la via alla scoperta del vero, prendendo norma da opportune comparazioni, ma queste oltrechè difficili, poco concludevano, imperocchè i successivi autori, abbandonando via via le ipotesi restrittive dapprima ammesse a misura che si rivelavano non convincenti, finivano con giungere a risultati poco comparabili fra loro e coi fatti sperimentali.

Bisognava, per concludere qualche cosa di positivo, affrontare da una parte il problema analitico nella massima generalità possibile, cioè col minor numero possibile di ipotesi restrittive, e dall'altra raccogliere insieme il maggior numero di fatti idonei ad un giusto controllo dei risultati del calcolo.

Questo colossale lavoro fu lo scopo di una di quelle sapienti analisi dei fenomeni naturali che l'ingegneria moderna deve al matematico Boussinesq, il quale, in parecchi lavori

pubblicati in varii tempi (*Académie des Sciences*, 1884, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1883-84), arrivava a stabilire la perfetta concordanza delle teorie dell'equilibrio dei massicci polverulenti coi fatti di esperienza constatati dal Darwin in Inghilterra e dal Gobin in Francia. Egli mostrava parimenti che la teoria rendeva conto di certe osservazioni fatte precedentemente dall'Audé, dall'Ardan, ecc., per cui possiamo oggidi considerare questa teoria come sufficientemente dimostrata dall'esperienza per raccomandarne l'applicazione ai calcoli che hanno per oggetto la determinazione della spinta esercitata dalla terra contro i muri di sostegno (1).

La sola ipotesi restrittiva ammessa dall'Autore è che si tratti di terre assolutamente prive di coesione, ciò che nello studio di progetti non solo è accettabile, ma è della massima prudenza accettare, potendo col tempo la coesione della terra venir meno senza che sia possibile sapere di quanto.

II.

Secondo il Boussinesq la spinta esercitata da un massiccio di terra contro la parete posteriore di un muro di sostegno supposta piana, è rappresentata dalla formola:

$$T = C \pi \frac{h^2}{2},$$

dove:

π è il peso del metro cubo di terra;

h è l'altezza del muro di sostegno dalla sua base all'incontro colle superficie di declivio del terreno (fig. 15);

C è un coefficiente numerico che il Boussinesq esprime con una formola la quale dipende dal coefficiente di attrito ϕ della terra contro la terra, dal coefficiente d'attrito ψ , della terra contro la muratura, dalla inclinazione ω della superficie del terreno sull'orizzonte, dalla inclinazione i della scarpa interna del muro colla verticale.

Un primo risultato importantissimo e rigoroso della teoria del Boussinesq è che il punto d'applicazione della spinta T è sempre al terzo inferiore dell'altezza h .

L'angolo α che questa spinta fa col muro risulta una funzione di ψ , ϕ , ω ed i . Un fatto sperimentale costantemente osservato è che gli angoli ψ e ϕ , sono sensibilmente uguali. Conseguenza di ciò è che dalla formola del Boussinesq l'angolo α della spinta T contro il muro risulta quasi sempre uguale a ϕ , o se ne discosta di assai poco.

Quest'ultimo fatto, anch'esso di molta importanza pratica, si può vedere ampiamente dimostrato dal Flamant nella interessantissima Memoria pubblicata negli *Annales des Ponts et Chaussées* sopracitati.

In questa Memoria il Flamant riassume la teoria del Boussinesq e fa vedere come il coefficiente C possa mettersi sotto la forma

$$C = K \frac{1}{2 \cos \phi \cos^2 i},$$

dove K è un numero compreso fra due altri K' e K'' , tal che:

$$K' = \tan \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \frac{\cos \psi \cos (\phi + d) \cos (\omega - i) \cos \phi}{\cos (\phi - d) \cos (\omega + \psi)};$$

(1) FLAMANT, *Poussie des terres* (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1° sem., pag. 515).

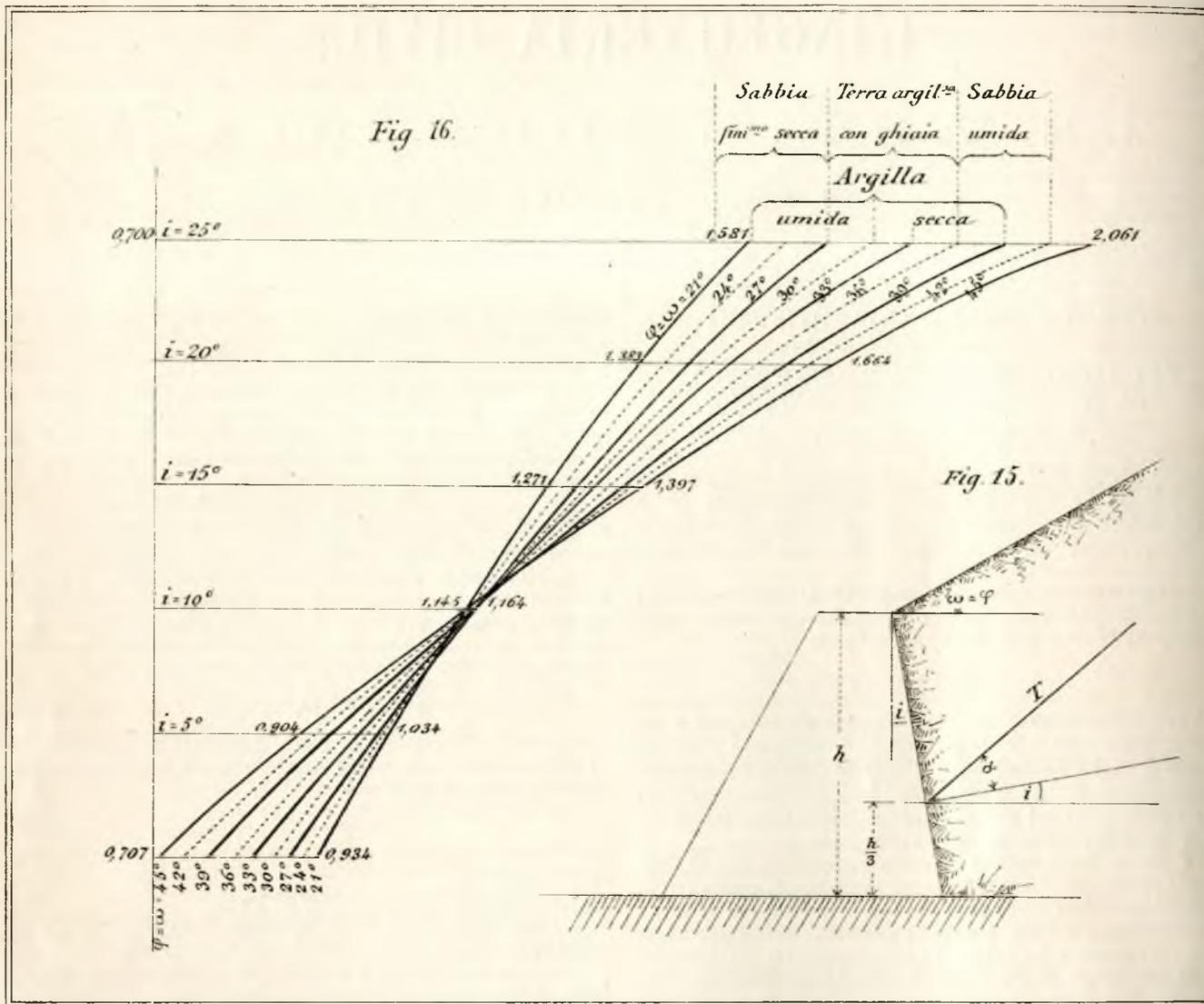


Fig. 15 e 16.

essendo ψ e d due quantità ausiliarie definite dalle relazioni :

$$\text{sen}(\omega + 2\psi) = \frac{\text{sen } \omega}{\text{sen } \phi}$$

e

$$d = \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} - \psi - i;$$

e K'' è determinato nello stesso modo che K' , tranne che si scrive in luogo di ϕ l'angolo alquanto minore che soddisfa all'equazione :

$$\frac{\text{sen } \phi}{\cos d} = \text{sen } \Phi,$$

dove Φ designa alla sua volta l'angolo di attrito dato.

Il valore più probabile di K risulta, secondo il Boussinesq:

$$K = K' + \frac{9}{22} (K'' - K').$$

III.

Il Flamant ha avuta l'opportunistissima idea di partire dalle formole del Boussinesq e di calcolare i valori di C e di α corrispondenti ad un numero assai esteso di valori arbitrari dati ad ω e ad i , e di raccogliere tutti i risultati in apposite tabelle che rendono molto comoda l'applicazione della teoria del Boussinesq, ed alle quali rimando il lettore per non oc-

cupare la presente nota con questioni non necessarie allo scopo (1).

In quella vece, estraggo dalle tavole del Flamant tutti i valori di C che corrispondono a valori di ω uguali a quelli di ϕ , ossia dell'angolo di attrito di terra contro terra; cioè i valori di C che corrispondono ai capi di muro sorreggenti le terre a naturale declivio, e li raccolgo nelle tabelle riportate nella pagina seguente.

IV.

Con queste tabelle è facile stabilire una comparazione fra i valori del coefficiente C dovuti a diverse inclinazioni i della parete interna del muro colla verticale; e per rendere la cosa vieppiù facile, porto in una scala qualunque sopra due assi coordinati delle lunghezze rappresentative dei valori di C corrispondenti a dati valori di i , e poi riunisco insieme con una linea continua, o diagramma, tutti i punti relativi ad uno stesso valore di ϕ , e ne risultano i sette diagrammi riportati nella fig. 16.

Ciò fatto, una cosa singolare colpisce l'osservatore: ed è che codesti diagrammi si intrecciano quasi nello stesso punto; il che significa esistere una coppia di valori di i e di C che rimangono pressochè gli stessi per tutti i casi di terreno a naturale declivio. Il valore di C è prossimamente 1,15 e quello di i è prossimamente 10° . Questo vuol dire che qualunque sia

(1) Vedere pure RÉVAL, *Ponts en maçonnerie*, vol. I, pag. 380 e seg.

$i = 0^\circ$

$\omega = \varphi =$	21°	24°	27°	30°	33°	36°	39°	42°	45°
C =	0,934	0,914	0,891	0,866	0,839	0,809	0,777	0,743	0,707
$\alpha =$	21°	24°	27°	30°	33°	36°	39°	42°	45°

 $i = 5^\circ$

$\omega = \varphi =$	21°	24°	27°	30°	33°	36°	39°	42°	45°
C =	1,034	1,028	1,015	1,003	0,988	0,974	0,953	0,932	0,904
$\alpha =$	20°4'	23°40'	26°35'	29°35'	32°30'	35°25'	38°25'	41°20'	44°15'

 $i = 10^\circ$

$\omega = \varphi =$	21°	24°	27°	30°	33°	36°	39°	42°	45°
C =	1,145	1,153	1,158	1,164	1,160	1,159	1,151	1,146	1,134
$\alpha =$	19°50'	22°40'	25°30'	28°20'	31°10'	34°0'	36°50'	39°35'	42°25'

 $i = 15^\circ$

$\omega = \varphi =$	21°	24°	27°	30°	33°	36°	39°	42°	45°
C =	1,271	1,297	1,318	1,336	1,352	1,367	1,380	1,389	1,397
$\alpha =$	18°30'	21°10'	23°55'	26°35'	29°15'	31°55'	34°35'	37°15'	39°55'

 $i = 20^\circ$

$\omega = \varphi =$	21°	24°	27°	30°	33°	36°	39°	42°	45°
C =	1,383	1,425	1,464	1,502	1,537	1,572	1,607	1,638	1,664
$\alpha =$	16°55'	19°20'	21°50'	24°20'	26°55'	29°25'	31°55'	34°25'	36°55'

 $i = 25^\circ$

$\omega = \varphi =$	21°	24°	27°	30°	33°	36°	39°	42°	45°
C =	1,581	1,644	1,708	1,766	1,826	1,886	1,945	2,003	2,061
$\alpha =$	14°55'	14°15'	19°30'	21°50'	24°10'	26°50'	28°55'	31°15'	33°35'

l'angolo di attrito della terra contro la terra e perciò qualunque sia la natura del terreno, si può ritenere che quando si faccia il muro colla scarpa interna di 10° , il coefficiente per quale bisogna moltiplicare la quantità $\frac{\pi h^2}{2}$ per avere la spinta totale $T \dot{=} C = 1,15$. E di più, osservando le tabelle, si trova che per $i = 10^\circ$ i valori di α sono molto prossimamente uguali a quelli di φ , per cui si può ritenere che sieno uguali.

Consegue che la regola di dare ai muri di sostegno una scarpa interna di 10° , semplifica molto il problema dell'equilibrio quando si tratti di terreno a naturale declivio, e rende facile calcolare il muro in modo che non possa cadere, anche se il declivio naturale venisse col tempo a cambiare. Una tale regola, pertanto, coincide colla migliore delle soluzioni teoriche.

Esempio. — Si domanda quale sia la spinta più pericolosa cui possa andar soggetto un muro di sostegno alto m. 3 contro un terreno argilloso secco, dal peso unitario di tonn. 1,5 al m^3 e dall'angolo di attrito di 39° , il quale può, per infiltrazioni d'acqua, diventare un terreno umido del peso di tonn. 1,8 al m^3 e dall'angolo di attrito di 21° .

Dalle cose predette risulta evidentemente che il punto di applicazione della spinta sarà sempre a m. 1 dalla base; inoltre, se si avrà l'avvertenza di dare al muro una rastremazione interna di 10° , il valore massimo della spinta non sarà mai superiore a

$$T = 1,15 \frac{1,8 \times 3,00^2}{2} = \text{tonn. } 9,31;$$

e si può ritenere che questa farà, colla normale alla faccia interna del muro, un angolo decrescente da 39° fino a 21° , nel qual caso si avrà la spinta maggiormente pericolosa.

Torino, gennaio 1898.

Ing. G. G. FERRIA.

IDRAULICA PRATICA

L'ODER E IL SUO BACINO IDROGRAFICO

(Veggansi le Tavole III e IV)

I. — L'OPERA DELL'UFFICIO TECNICO
DELLA COMMISSIONE REALE PRUSSIANA
NOMINATA CON DECRETO DEL 28 FEBBRAIO 1892.

Nel nostro articolo « Nuovi studi intrapresi in Germania » per ricercare le cause delle inondazioni ed i provvedimenti atti a scemarle (1), abbiamo detto che l'Ufficio tecnico della Commissione, nominata dal R. Governo prussiano con decreto del 28 febbraio 1892, si era accinto allo studio dei fiumi della Germania del Nord, e che avendo ultimato quello sull'Oder (2), già ne aveva fatta la pubblicazione, della quale noi ci riserbavamo appunto di parlarne con qualche estensione; ed è ciò che intendiamo di fare ora in queste pagine.

Un'opera tanto grandiosa e pure così completa, ricca di particolari senza esuberanza, è davvero il risultato di un lavoro gigantesco; e quando si pensa alla brevità del tempo in cui fu compiuta, e si tien conto degli innumerevoli materiali ed elementi dovuti raccogliere, l'animo del lettore si sente compreso di ammirazione.

Noi non conosciamo che due altre monografie di fiumi, le quali, sebbene a parer nostro non possano rivaleggiare con questa dell'Oder, pure tuttavia sono notevoli e di importanza grandissima; l'una di Lenthéric sul Rodano (3); l'altra dell'Ufficio centrale di meteorologia e idrografia del

(1) *Ingegneria civile*, ecc., 1896, pag. 167.(2) *Der Oderstrom, sein Stromgebiet und seine wichtigsten Nebenflüsse. — Eine hydrographische, wasserwirtschaftliche und wasserrechtliche Darstellung.* — Berlin, 1896.(3) CHARLES LENTHÉRIC, Ingénieur en chef des ponts et chaussées. — *Le Rhône, Histoire d'un fleuve.* — Paris, 2 vol. Plon, 1892.

Granducato di Baden sul Reno (1). Ma nella prima, la parte tecnica è affatto secondaria e viene trattata in fine del libro in poche pagine; mentre l'opera è dedicata specialmente alla storia del fiume considerato come un essere; descrive tutte le sue evoluzioni attraverso i secoli; i suoi vari aspetti nelle diverse epoche; tutto ciò che per lo passato si faceva o si fa tuttora nella valle da esso percorsa; le civiltà che vi si succedettero, o che vi si sovrapposero dai tempi più remoti fino ai moderni; la sua importanza agricola, industriale, economica; descrive le città che si specchiano nelle sue acque e la loro importanza; insomma è un'opera ben diversa e di tutt'altra natura da quella che noi intendiamo di analizzare.

La Monografia del Reno invece è più conforme a quella dell'Oder, anzi l'analogia è tale, che prima di iniziare il lavoro essa era stata scelta come modello. Ma poi il quadro di quest'ultima dovette ben altrimenti allargarsi ed anche il lavoro diversamente condursi, poichè lo scopo delle due pubblicazioni non era identico, e quello che per l'una era principale, per l'altra passava in seconda linea. Infatti la Monografia del Reno escludeva dal bel principio lo studio dei fenomeni relativi alle piene, perchè veniva riserbato a far parte di una pubblicazione successiva (2), limitandosi invece alla esposizione delle condizioni idrografiche, economiche e legislative delle acque del medesimo; mentre per l'Oder era prescritto dal programma come condizione prima, di considerare i fenomeni relativi alle piene e tutto ciò che vi si riferisce. Questa diversità di scopo doveva necessariamente avere per conseguenza una diversità d'indirizzo, donde la differenza delle due monografie.

Il signor Ermanno Keller, Direttore dell'Ufficio tecnico della Commissione incaricata dello studio di cui ci occupiamo, si accinse alla redazione dell'opera con un'attività veramente fenomenale, dedicandovi tutta la sua energia e potenzialità. Nella prefazione descrive brevemente come il lavoro fu concepito, organizzato e condotto, e basterebbe questo documento per assicurarci della coscienziosità del medesimo e garantirci della sua esattezza. I collaboratori diretti furono numerosi, quelli che vi contribuirono indirettamente sono stati legioni.

Per ciascuno di essi si dovettero elaborare programmi e tracce, anche per quelle parti che per la loro natura, furono confidate a specialisti, come, per esempio, è la parte relativa alle condizioni climatiche, la quale fu trattata dal Capo-ufficio dell'Istituto reale meteorologico; e così delle altre. Per evitare poi quegli errori nei quali facilmente si incorre nella descrizione di regioni, corsi d'acqua e simili, che non sono famigliari, si stamparono dapprima le singole descrizioni come manoscritti, e furono poi inviate ad impiegati idrotecnici speciali di residenza in luogo, ai quali la località e la materia erano famigliari, con incarico di controllare e rettificare gli errori e le inesattezze. In modo analogo si procedette per le altre parti dell'opera.

Ora è evidente che un procedimento di questo genere, non poteva mancare di dar risultati, sulla cui esattezza non possono più nascere dubbi, e perciò la Monografia dell'Oder è, da questo punto di vista, lavoro unico. Cosicché ormai, chiunque voglia studiare una questione relativa all'Oder od al suo bacino, non può dispensarsi dal consultarla, e siccome uguale lavoro si sta facendo sotto la stessa direzione per gli altri fiumi della Prussia, quando saranno pubblicati, non vi sarà questione d'idraulica pratica, che possa trattarsi, senza far capo in modo qualsiasi alle Monografie del signor Keller.

Questa grande importanza non è però solamente per quei tecnici, che si occupano dei fiumi della Germania; anche idraulici di altri paesi vi possono attingere con molto profitto e trovare una fonte infinita di massime e di ammaestramenti

notevoli, inquantochè i criteri direttivi, le deduzioni, ecc., sono di un interesse scientifico generale.

Tutta l'opera è condotta scientificamente dal punto di vista tecnico. Il corso principale di un bacino è, per così dire, lo specchio delle sue condizioni geografiche, geologiche, orografiche, ecc., quando si sappia ben comprendere e ben interpretare le relazioni che esistono fra esso e le medesime; è il risultato di tutte le condizioni che lo costituiscono, quasi la sintesi di tutti quegli infiniti affluenti che lo alimentano; perciò nel libro sull'Oder si è data l'importanza richiesta a tutti questi elementi secondari, che concorrono alla costituzione del tutto e vengono perciò studiati singolarmente sotto ogni aspetto.

La disposizione adottata è eminentemente logica; oltrechè ci guida in tutte le più remote e lontane diramazioni di questa immensa rete di corsi d'acqua, permette di abbracciare il tutto assai facilmente e di orientarvisi senza fatica; cosicché lo studio non solo diventa facile, ma anche aggradevole e di grande interesse.

L'opera consta di quattro volumi e di un grande atlante di tavole. In uno dei volumi (243 pag.) sono riuniti tutti quegli specchi ed allegati statistici, che pel loro formato mal si lasciavano intercalare nel testo, e che per natura meglio giova averli alla mano per consultarli quando occorre, che non trovarli, a guisa di ostacoli, durante la lettura dell'opera. Degli altri tre volumi il primo e il terzo sono suddivisi in vari tomi, cosicché formano un complesso di sei tomi distinti.

Dopo una introduzione generale sulla posizione geografica e ripartizione del bacino, si passa a trattare delle sue condizioni climatiche e meteorologiche, cominciando dalla temperatura e sue variazioni mensili, annuali e secolari, tenendo conto delle diverse stagioni e delle altitudini; passando poi alle precipitazioni, e da ultimo alle altre condizioni che vi influiscono, stato igrometrico, nubi, venti e simili.

Segue la descrizione orografica e geologica di tutto il bacino, distinguendo la regione montuosa e in collina da quella in pianura. Indi viene l'esame dello stato di coltura del terreno e delle condizioni forestali del medesimo: estensione dei boschi, loro aumento e diminuzione, essenze di cui si compongono, modo di coltivarli e di usufruirne; e finalmente la tanto dibattuta e non ancora risolta questione dell'influenza delle foreste sulle condizioni idrauliche dei corsi d'acqua.

Tutte queste notizie, contribuono non piccolo all'opera del signor Keller, servono di cenno preliminare alla medesima, nella quale si incede ora con una magistrale descrizione, che riassume e compendia tutto il libro. In poche pagine si espone l'intero programma, tratteggiando la rete dei corsi d'acqua di tutto il bacino; rilevando le relazioni fra la medesima e la orografia della regione, fra gli alvei e le elevazioni che li delimitano; fra la rete idrografica e il regime di scolo. Finalmente si passa a descrivere l'alveo dei fiumi e dei minori corsi d'acqua, nelle sue principali caratteristiche. Segue un capitolo sul regime di scolo, sulle osservazioni idrometriche, variazioni e frequenza dei vari peli d'acqua, piene e inondazioni, portate. Il primo tomo si chiude poi con un capitolo dedicato all'utilizzazione delle acque e mezzi o provvedimenti per regolarizzare il loro regime.

Il secondo tomo è quasi un'appendice all'opera; è un trattato sulla legislazione prussiana delle acque e relativa amministrazione, con opportune indicazioni dei rapporti che esistono fra le acque e le foreste.

Il volume secondo è consacrato per intero alla descrizione dei singoli bacini idrografici dei numerosi affluenti dell'Oder, con che si viene a costituire la descrizione completa del bacino generale del fiume.

La trattazione è fatta per ciascuno degli affluenti nello stesso ordine, cominciando dalla conformazione del suolo; indi la rete dei singoli corsi minori, rivi e ruscelli; poi la natura del terreno; lo stato di coltura del bacino e finalmente le sue condizioni boschive.

In questa descrizione si procede da monte a valle e per ognuno di essi, si arriva nella valle principale dove scorre maestoso il fiume maestro. Il compimento di questa rappresentazione viene fatto col terzo volume, suddiviso in tre tomi e nei quali si descrivono i corsi d'acqua dei bacini suddetti;

(1) *Der Rheinstrom und seine wichtigsten Nebenflüsse von den Quellen bis zum Austritt des Stromes aus dem deutschen Reich.* — Eine hydrographische, wasserwirtschaftliche und wasserrechtliche Darstellung, pubblicato dall'Ufficio centrale meteorologico e idrografico del Granducato di Baden. — Berlino, 1889.

(2) *Ergebnisse der Untersuchung der Hochwasserverhältnisse im deutschen Rheingebiet*, per cura dell'Ufficio centrale meteorologico, ecc., fasc. I-IV. — Berlino, 1891.

ed anche qui il libro procede con una rigorosa regolarità, passando in rivista per ognuno degli affluenti e per le varie parti dell'asta principale del fiume recipiente, l'andamento planimetrico, le condizioni di pendenza e di sezione trasversale, la natura dell'alveo e della valle bagnata. Poi le costruzioni dirette all'utilizzazione delle acque, quindi arginature, ostacoli ingombranti l'alveo, restringimenti di sezione causati da ponti, dighe o traverse e simili.

Da tutte queste singole descrizioni ne viene di conseguenza l'influenza esercitata sul recipiente; le variazioni di pelo, la frequenza e intensità delle magre ed escrescenze, le massime piene e inondazioni, gli effetti del gelo e le varie portate. Quest'ultima parte è trattata con ricchezza di dati e larghezza di vedute, criterio fino e ragionamenti perfettamente logici in modo da esaurire l'argomento.

*

Nel bacino dell'Oder si possono considerare due grandi fiumi distinti (vedi Tav. IV), l'Oder propriamente detto coi suoi innumerevoli affluenti e la Warta o Warthe, che realmente è un affluente dell'Oder, ma di tale importanza da meritare di essere studiata separatamente; e così si è agito nell'opera in esame, e la divisione adottata di considerarla quasi come fiume a sè e non come affluente, è stata giudiziosa e giustissima. Innanzi tutto i due corsi d'acqua hanno carattere diverso: l'Oder dalle origini fino alla confluenza con la Warta è, si può dire, un fiume montano, o per lo meno ne ha in gran parte i caratteri, in causa dei suoi affluenti, la maggior parte torrentizi. La Warta, invece, è un fiume eminentemente di pianura, ben caratterizzato; e la sua influenza sul recipiente è tale, che questo dalla confluenza in sotto e fino alla foce diventa pure un fiume di pianura.

Ammissa questa separazione, la divisione dei bacini viene naturalmente da sè. Un primo bacino imbrifero all'origine (I), quello delle sorgenti dell'Oder, dove esso nasce e si forma. Poi, in conformità del carattere del fiume, si divide nell'alto Oder, Oder medio e Oder inferiore; i primi due sono costituiti ciascuno da tronchi distinti: il superiore (II e IV) e l'inferiore, (III e V), ai quali corrispondono evidentemente bacini distinti. Il terzo, invece, è così uniforme su tutta l'estensione, che non si è creduto di suddividere, ed è designato nella Tavola IV col numero X.

In modo analogo si è operato per la Warta, distinguendo l'alta Warta (VI), la media (VII) e la bassa Warta o inferiore (VIII), che finisce alla sua confluenza coll'Oder.

Fra i bacini idrografici dei due fiumi vi è intercalato un bacino minore, quello d'Obra (IX), che non si può assegnare nè all'uno, nè all'altro dei due grandi fiumi sopradetti, perchè versa le sue acque in ambidue; anzi nella Warta financo in due punti, presso Rogalinek a monte di Posen e nelle vicinanze di Schwerin.

Si hanno così dieci grandi bacini secondari che si possono considerare come di secondo ordine e che furono studiati singolarmente, come si è detto più sopra.

Nel primo tomo del terzo volume si descrive l'Oder in tutta la sua lunghezza, dalle sorgenti alla foce; nel secondo tomo si passano in rivista gli affluenti suoi più importanti; il terzo ed ultimo tomo è consacrato alla Warta ed all'Obra. Queste descrizioni completano naturalmente quelle precedenti dei rispettivi bacini idrografici.

A facilitare ancora maggiormente lo studio e l'uso del libro, è stato premesso al terzo volume un indice speciale in forma di prospetto, nel quale, per ogni oggetto trattato: andamento planimetrico, pendenze, natura dell'alveo, influenza degli affluenti, piene, inondazioni, regime, ecc., si rimanda alle rispettive pagine per i vari tronchi in cui l'Oder è stato suddiviso per la trattazione, in conformità delle divisioni dei bacini adottati e di cui si è detto.

In tal modo si può studiare lo stesso argomento per tutta l'asta del fiume; oppure esaminare tutti gli argomenti e le questioni per una sola tratta del medesimo, la quale allora viene ad essere considerata come un tutto a sè completo in ogni parte; mentre nel primo modo si segue lo stesso fenomeno, per esempio quello delle piene, per tutta la lunghezza del fiume.

Un atlante di 36 tavole in foglio, completa l'opera.

Senza che noi facciamo qui degli elogi, ognun vede la grande importanza di un'opera di questo genere, essa è veramente gigantesca e fa grandissimo onore non solo all'ispettore Ermanno Keller che ne ha diretta la compilazione ed ai suoi laboriosi ed eminenti collaboratori, ma al Sovrano che ne ha avuto l'idea ed ha fornito i mezzi per attuarla; è un prodotto dell'attività tedesca, degna illustrazione di una regione così ricca di corsi d'acqua e dove la navigazione, l'industria, il commercio e l'agricoltura ne hanno ricavato vantaggi considerevoli.

II. — CENNI GENERALI. — CLIMA.

Cenni generali. — Non è possibile di dare qui, anche superficialmente, una sintesi dell'opera di cui abbiamo esposto lo scopo e il modo come il lavoro è stato distribuito e condotto; il nostro intendimento è solamente quello di fare conoscere agli idraulici italiani, con alcuni cenni affatto generali, l'Oder e il suo bacino.

Abbiamo già detto precedentemente, che il regime di un corso d'acqua principale è come lo specchio del suo bacino imbrifero, poichè tutti i fenomeni meteorologici che vi avvengono hanno un'influenza sul medesimo; e siccome tali fenomeni sono il risultato del clima che vi regna, così dallo studio del regime idraulico, sembrerebbe poter arguire della natura del clima stesso. Ma le altre condizioni che agiscono sul regime idraulico, oltre quelle enunciate, sono numerose e vi esercitano un'influenza notevole; per cui senza lo studio delle medesime riesce impossibile il farsi una giusta idea delle condizioni climatiche. Infatti la portata del fiume non è determinata solamente dalla differenza fra la quantità d'acqua fornita dalle sorgenti e dalle precipitazioni meteorologiche, e quella necessaria alla vegetazione o evaporatasi, ma il deflusso viene modificato in modo grandissimo dalla natura dei terreni costituenti il bacino, dalla quale dipende il coefficiente di assorbimento, che può variare dentro limiti abbastanza larghi.

Inoltre lo stato di coltura del suolo esercita pure un'influenza notevole, se è coltivato o boscato, e di che natura sono i boschi, se fitti o radi, e di quali essenze. Ma in grado massimo il deflusso del fiume principale viene regolato dall'ordine e dalla distribuzione dei vari affluenti per rispetto al recipiente e dalla coincidenza delle piene di un numero più o meno grande di affluenti fra loro o con le piene del fiume maggiore, e quindi dalla orografia del bacino colla quale è in diretta relazione la rete dei vari affluenti.

Tutte queste condizioni sono da studiarsi per poter ricercare il miglior modo di impedire che le acque straripino e producano danni, e per poterne trarre invece il maggior vantaggio possibile in favore dell'agricoltura quale acqua d'irrigazione, o dell'industria quale acqua motrice.

L'Oder, senza essere fra i primissimi fiumi della Germania, è però uno dei principali; l'estensione del suo bacino idrografico basta già a darne un'idea; infatti essa è minore di quelli dell'Elba, del Reno e della Vistola; supera invece di molto i bacini della Memel, della Weser, della Pregel e dell'Ems. Le origini del fiume si trovano in Austria, all'estremo confine sud-est della Prussia, là dove la Slesia austriaca e la Moravia si toccano; entra nel territorio prussiano presso Oderberg, dopo un percorso di 130 chilometri, ed attraversa tutta la Slesia in direzione sud-est nord-ovest, passando per Breslau, che è nel centro della medesima; percorre in seguito la provincia di Brandeburgo, dirigendosi verso nord, e finalmente una parte della Pomerania, per mettere foce nell'Haff di Stettino, che è una laguna, separata dal mare dalle isole di Usedom e di Wollin.

Il suo influente più importante è la Warta, che vi confluisce presso Küstrin, ed ha un bacino quasi uguale a quello dell'Oder superiormente al punto di confluenza. La Warta ha origine nel territorio russo, ed una parte del suo bacino si trova appunto nella Polonia russa; entra nel regno di Prussia in vicinanza a Peisern, attraversa la provincia di Posen, che poi presso Schwerin abbandona, per penetrare in quella di Brandeburgo, dove presto raggiunge l'Oder.

Il bacino dell'Oder viene così a trovarsi fra quelli dell'Elba e della Vistola (Tav. III), ossia occupa una posizione mediana fra l'Europa occidentale e l'orientale, ed anche, per la sua conformazione orografica, costituisce un bacino di transizione fra esse. Infatti ad occidente le montagne e le colline si avvicinano assai alla costa marina, mentre verso oriente vanno sempre più allontanandosi, finché la pianura germanica settentrionale, che ha forma di un triangolo acutangolo, si allarga sempre più fino a confondersi colla immensa pianura russa. Questa condizione orografica è di grande influenza sul deflusso del nostro fiume, cosicché, sebbene la catena di monti che lo avvicina dal lato occidentale, coi suoi corsi d'acqua torrentiziosi perseguiti fino nella pianura, giacché la Bober e la Neisse vi immettono poco più a monte della confluenza colla Warta, tuttavia la preponderanza dei corsi d'acqua di un bacino in pianura è assai sensibile, inquantochè l'area scolante dell'Oder dalla sopravvenienza della Warta viene ad un tratto raddoppiata, come vedremo in seguito. Perciò i bacini dell'Oder e della Vistola costituiscono il passaggio dalla pianura russa, col suo clima continentale, al terreno irregolare più o meno montuoso dell'Europa occidentale, dove predomina il clima marino. Questa posizione e l'altra circostanza che i monti meridionali del bacino sono più elevati di quelli settentrionali, gli assicurano delle condizioni climatiche relativamente regolari.

I punti estremi del bacino sono determinati come segue (Tav. III e IV):

	Latitudine	Longitudine
Punto più meridionale	49° 23' 40"	36° 6' 20"
» » settentrionale	53° 58' 20"	34° 30'
» » orientale	51° 6' 50"	37° 22'
» » occidentale	52° 48' 20"	31° 7' 20"

vale a dire che la lunghezza sul meridiano è di 509 km., e quella media secondo i paralleli di 429 km.; la superficie sferica racchiusa dai meridiani e paralleli estremi è del 45 010 superiore all'area del bacino dell'Oder, la quale è di 118 611,2 chilometri quadrati.

I bacini dei fiumi seguenti hanno le estensioni di fronte indicate:

Vistola	chilom. quadr.	192 545,6
Reno	»	160 022,9
Elba	»	134 986,2
Memel	»	92 534,0
Weser	»	45 253,3
Pregel	»	14 677,0
Ems	»	12 481,8

Il bacino idrografico dell'Oder confina a mezzogiorno specialmente con quello del Danubio, ad occidente con quello dell'Elba, ed all'oriente col bacino della Vistola, e più specialmente la linea di spartiacqua ha una lunghezza verso:

la Vistola di	1045 chilom.
il Danubio »	308 »
l'Elba »	764 »
e verso i fiumi della costa marina di	461 »

In totale 2578 chilom.

dei quali 1493 km. in pianura (528 a sinistra e 965 a destra del fiume) e 1085 in montagna o collina (569 ad occidente e 516 ad oriente).

*

Uno dei caratteri distintivi più marcati della rete idrografica dell'Oder consiste nello sviluppo di quella parte della medesima che si estende verso oriente, in perfetta indipendenza della rimanente; un fiume principale con direzione sud-nord, approssimativamente analoga a quella del recipiente, accoglie un altro corso d'acqua corrente da est ad ovest e scolante tutta la parte meridionale di quel territorio che si protende verso la costa marina, cosicché uniti raccolgono tutti gli scoli della pianura all'est e nord-est per immetterli nel recipiente nell'ultimo tratto del suo percorso. Questi sono la Warta e la Netze, che sebbene appartenenti al bacino dell'Oder, costituiscono altrettanti bacini imbriferi distinti.

Questo carattere dipende dalla conformazione orografica dell'Europa settentrionale, per cui si ripete colla medesima analogia anche nei bacini di altri fiumi; e allo stesso modo della Warta e della Netze coll'Oder, si comportano (vedi Tav. III) Bug e Narew in confronto colla Vistola; Havel e Sprea coll'Elba; Aller e Leine colla Weser. Il corso principale a monte della confluenza ha carattere più o meno torrentizio; gli altri due invece sono perfetti fiumi di pianura.

Clima. — Quando si studiano le condizioni climatiche di una contrada nei rapporti col regime idraulico, le variazioni di temperatura non sono quelle che hanno maggior importanza, ma bensì le altre relative alle precipitazioni, poiché queste esercitano un'influenza diretta sulle condizioni di deflusso dei suoi corsi d'acqua.

Il clima del bacino dell'Oder, sebbene, come abbiamo già osservato, costituisca una specie di transizione fra il clima marittimo e quello continentale, pur tuttavia propende più per quest'ultimo, del quale ha caratteri più marcati. E ciò si spiega senz'altro quando si considera che l'Oceano aperto si trova in una certa lontananza, mentre il Mar Baltico, che bagna l'estremità settentrionale, non può esercitare alcuna influenza moderatrice, essendo esso stesso escluso dalle correnti calde, poco sensibile al flusso e riflusso, e talvolta nell'inverno parzialmente gelato. Nè l'estensione del bacino verso mezzogiorno contribuisce a temperare il clima, prima perchè è poca cosa, non superando i 4° 11/2 di latitudine, e poi perchè l'influenza della maggiore altezza del sole viene controbilanciata dalla altitudine che il bacino verso sud va sempre più assumendo. Anzi questa si accentua verso le origini del fiume dove i Sudeti, i Beskidi e le montagne della Polonia danno al bacino un carattere montuoso.

L'andamento annuale della temperatura è assai regolare; nel luglio si ha il massimo calore in tutto il bacino; poi la temperatura diminuisce, dapprima (agosto) lentamente, in seguito nell'autunno con celerità fino nel gennaio, che è il mese più freddo. Dopo questo minimo la temperatura riprende, lentamente nel febbraio, poi più rapida nella primavera fino in giugno: l'accrescimento continua, ma con molta lentezza, fino al luglio. La media annuale varia fra 7° 11/2 e 8° 11/2, e mentre nella pianura settentrionale germanica si verificano gli estremi 6° nella parte più orientale nordica e 10° in quella meridionale occidentale, nelle montagne al sud 2° è la media annuale. La differenza della temperatura media fra il mese più caldo e quello più freddo è in media di 21°, e nella parte più settentrionale di 19° a 18°, e fino a 16° sulle cime (Schneekoppe). Il valore assoluto invece varia fra 60° e 70°; infatti da una lunga serie di anni di osservazioni risulta che si può contare per il bacino un massimo di calore di 30° e un freddo massimo di — 25° (nel corso inferiore dell'Oder), fino a — 30° (corso superiore).

Dalla distribuzione della temperatura nelle varie stagioni si rileva che il Mar Baltico mantiene fredda nella primavera la parte del bacino che gli è più prossima, e nell'autunno produce una continuazione dei calori estivi.

In direzione verticale si verifica anche qui un fatto comune ad altri paesi: che la temperatura media in tutte le stagioni è più bassa nelle altitudini elevate e tanto più, quanto è maggiore l'altezza.

Il primo gelo in tutto il bacino apparisce nel mese di ottobre, e più precisamente nella seconda metà; fanno eccezione solamente le più alte cime, dove si manifesta già ai primi di settembre, e la foce presso Stettino, dove ritarda fino ai primi di novembre. Gli ultimi geli avvengono generalmente nell'aprile, e cioè alla metà, verso la foce, e alla fine del mese nel resto del bacino, ad eccezione di alcuni punti della Warta, dove ritardano fino ai primi di maggio. Si hanno così annualmente da 90 a 225 giorni nei quali la temperatura discende sotto zero, secondo che si va dalla foce alle regioni montuose, e cioè 105 nel corso superiore dell'Oder, 140 nelle valli montuose e 110 nelle contrade della Warta e della Netze.

*

Precipitazioni. — Anche per le precipitazioni si verifica il fenomeno analogo come per il clima, e cioè le differenze che

hanno luogo, non dipendono dalle diverse distanze nelle quali le varie parti del bacino si trovano dal mare, e ciò ad onta che le correnti umide vengono per la maggior parte dall'Oceano, e perciò sembrerebbe che questo dovesse esercitare la massima influenza. Invece le precipitazioni sono in rapporto diretto con l'altitudine delle varie parti del bacino, tanto per la intensità, quanto per la distribuzione. Però non si deve attenersi all'altezza assoluta, ma bensì alle direzioni secondo le quali si delineano le sopraelevazioni; il che è naturalissimo, visto che il bacino dell'Oder d'ordinario è esposto all'influenza delle depressioni barometriche atlantiche, le quali producono con preponderanza venti del quadrante occidentale, e con essi tempo umido e abbondanza di precipitazioni. Dalla determinazione delle linee isoiete, ossia di uguale precipitazione, risulta che le regioni più elevate del bacino presentano la maggior intensità di precipitazione, la quale può oltrepassare i 1000 mm. nel corso dell'anno; nei Beskidi e nel Riesengebige si hanno altezze ombrometriche fino a 1400 mm. Queste abbracciano una certa estensione, senza comprendere la punta più elevata (Schneekoppe), dove l'altezza varia da 1100 a 1200 mm. l'anno.

Una zona ristretta con altezze di precipitazioni da 900 a 1000 mm. rasenta la parte settentrionale di quella regione; attorno ad essa e parallelamente, dalle colline della Lusazia fino ad Altvater, si estende un'altra zona pure molto ristretta con precipitazioni da 800 a 900 mm.

In seguito le superficie di uguale altezza assumono un'estensione assai maggiore. Nella parte più meridionale del bacino, le zone con altezze di precipitazioni da 700 a 800 mm., e da 600 a 700 mm. predominano, occupando specialmente le parti laterali del bacino; nella regione settentrionale invece, la zona con altezze da 500 a 600 mm. ha il sopravvento ed occupa essa sola oltre la metà di tutto il bacino imbrifero. Accompagna la valle dell'Oder dalle sorgenti del fiume fino al suo corso inferiore, evitando solo in alcuni punti la zona da 600 a 700 mm.; si eleva fino alle sorgenti della Neisse di Glatz, ed occupa tutte le parti della pianura da Guben a Francoforte, a Landsberg, Neustettin, Witkowo, Pleschen, girando attorno a Posen, dove regna una striscia di minima precipitazione, con altezze di 400 a 500 mm.; la quale striscia accompagna pure l'ultima parte dell'asta dell'Oder da Guben, Küstrin fino a Greifenhagen; ossia dalla imboccatura della Neisse di Lusazia fino quasi alla foce dell'Oder.

Le regioni in prossimità della costa e le stazioni elevate nell'interno presentano delle particolarità comuni, che vogliamo rilevare; la loro percentuale delle precipitazioni estive è minore che non nelle altre regioni; e quella invernale invece è alquanto maggiore; da ciò proviene una ripartizione annuale più regolare delle precipitazioni.

La maggiore o minore frequenza dei temporali è un elemento per la probabilità di una maggiore o minore intensità delle precipitazioni, poichè d'ordinario a un temporale tengono dietro dei rovesci d'acqua più o meno lunghi, la maggior frequenza dei quali si verifica nelle stagioni più calde. Però nel regime complessivo del fiume non si deve dimenticare, che i temporali costituiscono un fenomeno piuttosto locale e variabile, non solo nell'anno, ma in una serie d'anni; cosicchè talvolta si verificano di preferenza in certe regioni, che poi abbandonano per diversi anni, preferendone altre. Dalle osservazioni che si possiedono si può però concludere che la frequenza dei temporali diminuisce andando dalle origini dell'Oder fino alla foce, dalle regioni montuose alla pianura. Sono numerosi nei mesi dal maggio all'agosto, mentre dal novembre al febbraio si riducono ad un *minimum*. Il massimo si verifica nel corso superiore e mediano dell'Oder in giugno, e in luglio nel corso inferiore.

La neve incomincia già ad apparire sulle cime più elevate verso la metà di agosto; sulle pendici e nelle vallate montuose ai primi di ottobre o verso la metà; nel corso superiore e medio dell'Oder, nel bacino della Warta e nella pianura della Pomerania ai primi di novembre; e verso la metà del mese nella regione vicino alla foce.

Cessa di nevicare nell'ordine inverso, e così verso la metà di aprile nel corso inferiore e medio dell'Oder si hanno le ultime nevicate; verso la fine dello stesso mese nel corso su-

periore, nella Pomerania, nel bacino della Warta e nei primi contrafforti; e finalmente nel corso del maggio in tutta la montagna. Considerando il tempo fra il primo apparire della neve e la sua ultima scomparsa come inverno, si trova che sulle più alte montagne esso ha la massima durata di 300 giorni e la minima di 150 giorni, nel corso inferiore; poi va man mano crescendo e diventa di 160 nel corso mediano e nel bacino della Warta; di 170 nelle pianure del corso superiore; di 180 nelle vallate fra i contrafforti delle montagne, ecc.

Nel mese di giugno non si trova più una coperta di neve continua non interrotta, nemmeno nelle regioni più elevate. La massima altezza poi della neve caduta, dove non vi sono cavalli o accumulamenti, è di m. 0,25 a m. 0,50, e di m. 1 a 2 nelle montagne.

Finalmente si è osservato che il periodo più lungo di siccità verificasi dappertutto in settembre, e quello di maggior umidità dappertutto nel marzo. La conclusione di tutto ciò si può riassumere nel fatto, che dove l'Oder conduce le maggiori acque e subisce le massime piene, la regione è la più povera di precipitazioni.

*

Gli altri elementi climatici sembra dovrebbero avere nessuna o poca importanza sul regime dei fiumi, ma non è così, poichè per l'influenza che esercitano sull'evaporazione, meritano di essere presi in considerazione; pur troppo però per il bacino dell'Oder non si hanno dati sufficienti per poter trarre delle conclusioni definitive.

L'umidità aumenta nel bacino col crescere della distanza dal mare; nella montagna occorrono naturalmente delle differenze considerevoli, poichè lo stato idroscopico assoluto e la temperatura variano col crescere dell'altitudine. Ma la media generale varia da 75 a 79 0/10 e la pressione del vapore acqueo da 6,6 a 6,8 mm.

La direzione dei venti è pure un elemento importante pel clima; nella media annuale i venti meridionali sono i più caldi, quelli settentrionali i più freddi.

In generale i venti occidentali sono più carichi di umidità che non gli orientali; dopo di essi in inverno i venti di sud-est sono i più umidi, e nella primavera quelli settentrionali; mentre i più asciutti, coi venti orientali e di sud-est, sono in autunno quelli di sud-ovest. Questi ultimi portano nella Slesia le maggiori piogge, e nel centro del bacino invece sono i venti occidentali, e nella parte inferiore quelli di sud-ovest, che sono più ricchi di piogge.

Con ciò si sembra di avere delineato a grandi linee il clima del bacino dell'Oder.

III. — OROGRAFIA E GEOLOGIA.

Non si dovrà attendere da noi l'orografia completa del bacino dell'Oder, poichè tanto varrebbe riassumere l'opera che stiamo esaminando; noi intendiamo semplicemente accennare per sommi capi ai punti più importanti, e in modo da dare al lettore un'idea generale delle principali particolarità.

Generalmente ogni bacino presenta nella sua orografia una certa varietà, cosicchè si può suddividere nelle varie categorie di pianura, collina, montagna e regione alpina; non tutte queste categorie si trovano sempre nei vari bacini; così, per esempio, in quello dell'Oder manca affatto l'ultima, poichè le sue cime più alte non oltrepassano i 1700 metri. Se noi designamo come paese di pianura quello che ha estensioni quasi piane, le cui elevazioni non raggiungono altitudini superiori ai 200 metri, troveremo che il bacino dell'Oder, per più di due terzi della sua estensione, può classificarsi sotto questa categoria. Il resto è occupato in parte da colline, in parte da montagne.

Le montagne sono i Sudeti ed i Beskidi; i primi limitano il bacino dell'Oder al sud-ovest, andando da Weisskirch in direzione nord-ovest, fino a Dresda. I monti Beskidi invece, occupano l'estremità meridionale del bacino e costituiscono già uno dei gruppi dei grandi Carpazi. Una depressione assai profonda separa i due sistemi di montagne e costituisce il principale passaggio fra l'Austria-Ungheria e la Germania.

Da queste montagne si diramano, verso nord-est e nord, delle colline, che si possono considerare come contrafforti delle medesime; in parte seguono parallelamente la catena

dei Sudeti, dall'accennata depressione fino a quella di Görlitz e in parte si adagiano verso settentrione davanti ai monti Beskidi, ma per brevissimo tratto, poichè incomincia subito una specie di altipiano, la cui altitudine è compresa fra 200 e 300 metri, e che s'insinua fin dentro la depressione che separa le due catene, e si estende verso nord lungo la sponda destra dell'Oder e in direzione nord-est, delimitando il perimetro del bacino fin nelle regioni della Warta, costituendo appunto la Slesia superiore.

La catena dei Sudeti, colle sue più alte cime, segue quasi lo spartacque del bacino dell'Oder, fra le due cennate depressioni.

Tutto il resto del bacino, invece, si può considerare come pianura.

Adiacente al menzionato altipiano della Slesia e con estensione verso nord, abbiamo una prima parte con elevazioni da 150 a 200 metri, limitata a Lods, Kalish e Oels; una seconda regione, la cui altitudine è compresa fra 100 e 150 metri, si estende verso nord fino a Lentschiza, Kolo, Konin, Jarotschin e Lissa, e verso sud, seguendo la vallata dell'Oder, comprende Breslau e va a perdersi presso Oppeln.

Finalmente, tutta la restante parte settentrionale del bacino, che ne costituisce quasi la metà, si presenta come una vasta pianura con altipiani variabili da 50 a 100 metri sul livello del mare, e inferiori a 50 metri nell'ultimo tronco dell'Oder.

Solo qua e là appaiono alcune parti elevate a guisa di isole, ma la cui altezza però si mantiene al disotto di m. 150; e queste sono principalmente nelle vicinanze di Gnesen e nell'estremo limite settentrionale da Bromberg e Jastrow, fino allo spartacque più nordico degli affluenti della Netze.

Nell'insieme, dunque, il bacino dell'Oder ha piuttosto un carattere di pianura; l'arteria principale viene alimentata per tutta la catena dei Sudeti e pel gruppo dei Beskidi, da torrenti di montagna, ma lo stesso suo corso anche in questa parte che più si avvicina alle origini, presenta relativamente quasi nessun carattere di torrente di montagna.

I Sudeti, tanto dal punto di vista geologico, quanto da quello orografico, si possono suddividere in tre gruppi, in ciascuno di essi primeggia una cima composta di schisti cristallini o di terreni primitivi, sui quali poi si sono depositati i terreni posteriori. Questi tre gruppi sono il Riesengebirge o Isergebirge, l'Eulengebirge e l'Altvatergebirge; essi hanno dato luogo alla divisione dei Sudeti in settentrionali, centrali e meridionali.

Questi ultimi sono delimitati dalla depressione moravica, che costituisce la separazione coi monti Beskidi al sud, e al nord da un'altra depressione il cui centro è Glatz e il perimetro viene formato dal torrente Neisse. Questo gruppo è costituito principalmente da schisti cristallini con predominio di gneis e di micascisti, sui quali verso mezzogiorno si adagiano rocce di sedimento paleozoiche. La maggior elevazione è l'Altvater (1490 metri), costituita di gneis; dopo di essa viene il terreno devoniano, e poi un insieme di grauwacke, conglomerati e schisti argillosi, fino alla depressione moravica. Questo gruppo di monti scola nell'Oder per mezzo degli affluenti laterali del medesimo, specialmente dell'Oppa e della Mohra che, coi loro rivi e ruscelli, scorrono in vallate e burroni profondi. In generale non seguono l'andamento dei ciglioni dei monti, ma li tagliano in valli trasversali; solo l'Oder dalle sorgenti e per breve tratto, la Mohra prima di gettarsi nell'Oppa, e questa a monte di Jägerndorf, percorrono eccezionalmente valli longitudinali; i piccoli rii però vanno a versarsi nei fiumi suddetti, generalmente in valli longitudinali.

Lo smaltimento delle precipitazioni meteoriche nella depressione moravica ha luogo rapidamente; la pendenza dei corsi d'acqua è notevole, visto che le pendici da 1000 metri discendono a 300 metri in breve distanza; siccome poi il suolo è così poco permeabile da poterlo ritenere quasi come impermeabile, ne segue che il deflusso ha luogo non solo rapidamente, ma anche con pericolo, pel repentino accumularsi di grandi masse d'acqua.

Anche il trasporto dei materiali nelle parti montuose dei corsi d'acqua è notevole per quantità e volume, il che è causa di formazione di grandi conii di deiezione allo sbocco dei vari torrenti, che producono rigurgiti, spostamenti della corrente

e cambiamenti di livellette; i letti dei torrenti si rialzano e le sponde vanno sempre diminuendo in altezza, così il pericolo di inondazioni si fa sempre più maggiore.

A settentrione del monte Altvater, il terreno cristallino viene abbracciato verso oriente da due catene di montagne: dalle Schneegebirge di Glatz e dai monti di Reichenstein. Il primo costituisce un punto degno di nota nei Sudeti meridionali, poichè forma lo spartacque fra tre mari; infatti le sorgenti della Neisse mandano le loro acque nel Mar Baltico; la tranquilla Adler scola melanconicamente nell'Elba, e per questa via va a finire nel Mare del Nord. Finalmentela March, che nasce pure in questi monti, costituisce la diramazione più settentrionale del Danubio e va con esso a gettarsi nel Mar Nero. Nella parte più settentrionale del gruppo di monti che stiamo considerando, in quelli che toccano la Boemia, troviamo terreni assai più permeabili, che non quelli di gneis e di micascisti, perciò la loro influenza sui corsi d'acqua è notevolmente diversa, ritardatrice e quindi benefica.

Il secondo gruppo è quello dei Sudeti centrali, che vanno dalla depressione di Glatz (al sud) ad un'altra depressione nel nord molto pronunciata, che si può denominare di Landeshut-Freiburg, poichè con andamento alquanto contorto congiunge questi due punti.

Il gruppo di montagne così delimitato, ha una lunghezza sul lato orientale di 70 chilometri circa e di 50 chilometri su quello orientale; la larghezza media si può stimare di 40 chilometri in cifra tonda. Senza entrare in particolari sull'orografia del gruppo, basterà dire che si suddivide in quattro minori, diversi fra loro tanto nei rapporti orografici, quanto per conseguenza in quelli idrografici.

L'Eulengebirge presenta un terreno argilloso decomposto, che costituisce una coperta, talvolta con altezza fino di 2 metri, sopra il gneis frantumato, la cui profondità varia da 1 a 4 metri; cosicchè le acque passano rapidamente attraverso la coperta argillosa non coerente e vengono però trattenute più a lungo nello strato inferiore, donde avviene che anche in tempi secchi i ruscelli e rivi conducono acqua per un periodo relativamente lungo, il che ha dato luogo alla designazione volgare di « pietra d'acqua » pel gneiss di queste montagne.

Il Warthaer Gebirge, invece, è impermeabile, epperò gli straterelli di arenaria che attraversano gli schisti di cui è composto, non arrivano a raggiungere spessori tali da diminuire l'impermeabilità del rimanente. Nei monti di Waldenburg si hanno terreni carboniferi assai porosi; ed egualmente permeabili sono le formazioni di conglomerato del permiano, meno gli strati di arenaria, mentre le argille schistose nere e rosse non sono affatto permeabili. Mediamente invece lo sono i tufi porfirici e i porfidi, la cui estensione è considerevole; e permeabili a sufficienza i melafiri e le porfiriti; quasi nulla i tufi melafirici.

Da ultimo abbiamo il Heuscheuergebirge, il quale può considerarsi come costituito interamente di terreni permeabili, sebbene alcuni non lo siano che mediocrementemente.

I quattro gruppi di monti costituenti i Sudeti centrali, sono tutti tributari del fiume Steine ed è nel bacino di questo che si manifesta in modo evidente la diversità dei vari terreni nelle loro qualità di permeabilità, il che riesce interessante a studiarli; nel complesso però, tenuto calcolo di tutto e dell'ordine nel quale i terreni vengono attraversati, si può considerare la Steine come avente un bacino quasi impermeabile.

L'ultima divisione è costituita dai Sudeti settentrionali o catena dei Riesengebirge (monti dei giganti); si stacca dalla depressione Landeshut-Freiburg e va a nord-ovest elevandosi nella Schneekoppe fino a 1605 metri, e avvicinandosi ad ovest all'Elba e al nord fino alla depressione della Lusazia. La lunghezza di questa catena sul lato meridionale, da Landeshut fino alla Neisse di Lusazia, è di 80 chilometri; mentre sul lato settentrionale è di circa 100 chilometri. La larghezza media varia da km. 40 a 50.

La base di tutta la catena è costituita da rocce cristalline primitive, e più specialmente da formazioni di gneis, di micascisti e di fillite. Tutte queste formazioni concorrono in un potente nucleo di monti, che occupa grandi superficie della Slesia inferiore e della Boemia; nel mezzo viene attraversato da nuclei colossali di graniti che nell'estremità nord-

ovest gli fanno confine. Da tutte le parti viene circondato da depositi sedimentari. Un sistema dell'epoca cambrica, silurica, e devonica si insinua fra l'Eulengebirge e i monti dell'Iser e dei Giganti. Questi ultimi contengono le cime più elevate della Slesia e della Boemia (Schneekoppe 1605 metri). Verso oriente si abbassa poco a poco fino a raggiungere un altipiano di colline di 400 a 450 metri di altitudine. I corsi d'acqua vi hanno scavato profondi burroni prima di raggiungere il piano, la cui profondità si spinge talvolta fino a 60 e 80 metri, e che danno al paese un aspetto assai pittoresco e molto interessante. La roccia predominante nelle montagne orientali è breccia di gneis e conglomerati, accompagnati solamente qua e là da ristrette zone di arenaria, di grauwacke e schisti argillosi; l'intera regione nella parte meridionale è passabilmente permeabile, ciò che non può dirsi della parte settentrionale, la quale, per la natura dei suoi terreni, va ritenuta impermeabile.

Dalla catena dei Sudeti si staccano in direzione nord-est i contrafforti, i quali si suddividono pure in tre categorie corrispondenti alle divisioni stabilite della catena principale. Essi sono in parte quasi intimamente collegati coi monti della medesima e costituiscono vere diramazioni; in parte, invece, sono separati da larghi piani occupati da terreni diluviali. In ogni modo, essi formano l'anello di transizione, non solo orograficamente, ma anche geologicamente fra la catena dei Sudeti e la pianura tedesca settentrionale; poichè col loro scheletro o nucleo roccioso appartengono ai terreni della catena principale; coi loro terreni d'inondazione, invece, terziario-diluviale, si congiungono alla pianura.

I contrafforti dei Sudeti settentrionali vengono delimitati verso il piano da una linea che da Penzig va a Kohlfurt, Klitschdorf, Bunzlau, Haynau, Liegnitz e Ingramsdorf; non presentano altitudini superiori ai 450 metri circa; il diluvio non solo s'insinua nelle varie insenature di queste colline, ma penetra anche nella parte montuosa, spingendosi fino ad altitudini di 400 e 500 metri, e in alcuni punti fino a 560 metri.

Con questa distribuzione così estesa del diluvio è evidente, che l'aspetto geologico della regione viene variato; poichè là dove si crede di trovare della roccia o dei prodotti di disgregazione della medesima, s'incontrano invece grandiosi depositi di diluvio. Tale circostanza modifica le condizioni di permeabilità del suolo in quelle regioni, e rende incerte e assai poco sicure le deduzioni tirate dall'aspetto geologico della contrada sul grado di permeabilità e di deflusso dei singoli fiumi.

I contrafforti dei Sudeti centrali vengono limitati al nord da una linea che riunisce Ingramsdorf, Zobten, Strehlen e Grottkau; si estendono sopra una lunghezza di 90 km. e una larghezza variabile fra 35 a 45 km.; si dividono in tre gradoni; il primo, con altitudini variabili fra 200 e 300 m. occupa la maggior estensione, e si estende da Striegau per Schweidnitz a Reichenbach; poi una piccola zona fra Franckenstein-Patschkau e Neisse-Münsterberg-Strehlen. Il secondo da 300 a 400 m., e il terzo costituito da semplici monti isolati che si sovrappongono al precedente e si elevano a 492 m., 427 m. e simili. Anche qui il diluvio serpeggia dovunque fra le colline e colla sua natura eminentemente argillosa, insieme al gneiss, al micascisto, al gabbro e al granito dei monti, i cui prodotti di degradazione sono impermeabili, concorrono a rendere il suolo impermeabile, e ciò ad onta del serpentino, del basalto e degli schisti di quarzite che sebbene permeabili, per la poca estensione da essi occupata, non modificano in modo sensibile l'effetto generale del suolo.

Nei Sudeti meridionali, contrariamente a quanto abbiamo visto, i contrafforti non si staccano molto dalla catena principale, ma si mantengono addossati, cosicchè il passaggio tra la montagna e la pianura avviene quasi insensibilmente, tanto che riesce difficile il tirare una linea di divisione orografica ben marcata. Dal diluvio si elevano qua e là cime della stessa natura geologica della catena principale; mentre poi il diluvio stesso consta di materiali molto permeabili.

*

I Besckidi. — Questa catena costituisce il secondo sistema di montagne nel bacino idrografico dell'Oder; è la diramazione più settentrionale dei Grandi Carpazii, occupa però una esten-

sione assai limitata nel bacino, una lunghezza da sud ad est di 55 km. circa ed una larghezza di poco più di 20 km. Le sue pendici sciolano in parte nell'Oder e in parte in due dei più importanti affluenti di esso, l'Ostrawitz e l'Olsa, i quali non solo hanno le loro sorgenti nei Besckidi, ma li attraversano in strette, profonde e rocciose valli.

La catena viene dal monte Visoka (1024 m.) divisa in due gruppi, occidentale e orientale, dei quali l'ultimo è da considerarsi come la catena dei Besckidi nel vero significato della parola. Al primo gruppo appartiene il Radhost che si eleva fino a 1133 m.; al secondo il Gran Polom (1067 m.), Knehyna (1257 m.), Smrk (1282 m.), Lissagora (1325 m.) e Trawny (1201 m.); l'elevazione media tanto dell'uno quanto dell'altro gruppo è di 800 m. circa.

Fra le creste dei due gruppi giacciono le vallate longitudinali che alimentano l'Olsa e l'Ostrawitz.

La natura geologica dei Besckidi è tutt'affatto diversa da quella dei Sudeti; le cime sono costituite di arenaria dell'epoca cretacea e rappresentano una serie di strati di un'altezza complessiva di 900 m. circa, che va perdendosi negli schisti arenacei, e che verso l'alto è coperta di potenti strati di conglomerato. In direzione nord la pendice precipita quasi verso il piano delle colline, la cui altitudine è di 200 a 400 metri in media, sebbene qua e là mostri pure delle montagne che si elevano fino a 600 e 700 m. A questo piano fa seguito un altro ancora più basso e pochissimo ondulato che si perde nella pianura di cui parleremo in appresso. Qui troviamo per la maggior parte schisti marnosi, calcari e arenacei della formazione cretacea, che vengono attraversati da masse eruttive.

Sulla destra dell'Oder, e precisamente nella depressione moravica, al nord dell'Olsa e della Vistola comincia un altipiano, che è appunto la Slesia superiore; si estende verso settentrione allontanandosi dall'Oder ed andando a raggiungere il bacino della Warta; e verso oriente va a congiungersi coll'altipiano polacco del bacino della Vistola. Esso abbraccia due piani diversi, come già abbiamo visto, e geologicamente si distingue da tutto il rimanente; la maggior parte appartiene al miocene marino; verso il nord si hanno formazioni dell'oligocene e del terreno carbonifero. Avuto riguardo alla natura petrografica dell'insieme il suolo deve considerarsi come impermeabile; ed anche le parti arenacee, benchè assai permeabili, in causa degli strati miocenici inferiori, non modificano il risultato dell'insieme.

*

La pianura del bacino dell'Oder. — Abbiamo già detto che la pianura occupa l'estensione maggiore del bacino, la sua orografia è presto accennata; essa occupa una posizione intermedia tra i due bacini dell'Elba e della Vistola e ne costituisce il passaggio dall'una all'altra. I tre fiumi nel loro andamento generale tradiscono un parallelismo evidente, e che sarebbe ancora più marcato se l'Elba all'occidente di Oderberg, e la Vistola presso la foce della Brahe, venissero alquanto deviate in direzione nord-est verso il mar Baltico (tav. III).

In causa di tale parallelismo le distanze fra i tre fiumi si mantengono press'a poco costanti, in media 150 km. fra l'Oder e l'Elba, e 250 km. fra quello e la Vistola. Spartiacque ben determinati nel vero significato della parola non si hanno che nei Sudeti e nei Besckidi, mentre nella parte centrale tanto a oriente, quanto ad occidente, la separazione dei bacini non è così marcata. Questa circostanza viene spiegata dalla conformazione orografica della pianura, che è stata determinata dalla sua costituzione geologica; infatti i tre bacini accennati comunicano fra loro mediante larghe vallate, la cui genesi risale alla prima epoca glaciale; e queste vallate insieme con altre valli di ordine inferiore, dividono la pianura in tanti piccoli altipiani, che per la conformazione orografica del bacino hanno grandissima importanza.

La regione montuosa (colline) della Slesia superiore e della Polonia si estende verso il nord fino alla vallata della Bartsch; verso occidente viene delimitata dal tronco dell'Oder fra la confluenza della Katzbach e della Bartsch. Un'altra suddivisione viene determinata dalla vallata che la Warta percorre da Schrimm fino a Jazskowo, e dalla depressione tra Jazskowo e

Moschin, che dovette senza dubbio nell'epoca glaciale costituire l'alveo pel quale le sue acque passando per Obrabruch (Obra-Nord-Kanal) andavano a raggiungere la valle dell'Oder presso Tschicherzig (tav. IV). Da qui continuava secondo il corso attuale dell'Oder, e trovava una congiunzione ulteriore col bacino dell'Elba nella depressione di Müllrose, poi Berlino e Nauen fino a Havelberg. La vallata principale sarebbe quindi Warschau-Berlino.

Gli affluenti di sinistra dell'Oder dopo la immissione della Neisse di Lusazia, sono senza importanza, poichè lo spartiacque tra l'Elba e l'Oder è assai vicino a questo e quindi non vi è un bacino imbrifero con sufficiente estensione per raccogliere una considerevole quantità d'acqua.

Una terza vallata longitudinale di congiunzione fra i tre bacini andava da Thorn a Eberswalde per Bromberg e Küstrin; dapprima lungo i corsi della Netze e della Warta fino a raggiungere il corso attuale dell'Oder, che poi seguiva da Küstrin fino a Nieder-Finow, e per Eberswalde scorrendo in direzione occidentale al nord di Glien, per Bellin e Havelberg raggiungeva la vallata dell'Elba.

Se facciamo astrazione da una parte, di quella zona che si adagia sulle pendici dei Sudeti e dall'altra dell'altipiano della Slesia superiore, in tutto il resto del bacino dell'Oder non troviamo che due formazioni geologiche, e cioè la terziaria e la quaternaria; solamente in qualche punto appaiono tracce di formazioni più antiche, che costituiscono nell'immensa pianura vere isole minuscole.

Una di queste trovatisi presso Inowrazlaw allo spartiacque sull'arteria che da Posen va a Thorn. Qui si scoprirono, mediante ricerche montanistiche sotto il diluvio, le formazioni gessosa e marno-gessosa, con un filone di sale.

Due altre isole, dove affiora il calcare bianco del Giura, sono Hansdorf nelle vicinanze di Pakosch e Krotoschin presso Bartschin. Ma questi sono di così poco momento che non entrano in considerazione.

Tutto il resto è quaternario e precisamente nelle vallate dei corsi d'acqua abbiamo innanzi tutto terreni alluvionali, ossia più recenti; poi grandi estensioni di diluvium costituito da sabbie che si alternano con depositi di argilla e con altri di argilla e sabbia mescolate.

Queste tre specie di terreno occupano tutta l'immensa pianura; le argille predominano sulla sinistra dell'Oder da Troppau fino a Breslau, Liegnitz e Bunzlau; poi sulla destra fra la vallata della Bartsch, Kalisch, Inowrazlaw, Obornik, Birnbaum, Neutomischel e Kosten. Poi al settentrione della Warta fra Stargard, lo spartiacque verso il Baltico, Arnswalde, e Soldin circoscritto da una morena terminale dell'epoca glaciale. Tutto il resto invece è occupato da terreni sabbiosi e da larghe pezze di terreni misti ad argilla sabbiosa. In alcune contrade però lo spessore di queste formazioni è così tenue, che il terziario sottostante quasi affiora, anzi si può ritenere come affiorante. Esso è costituito da strati di oligocene medio, superiore e miocene.

Dall'esposizione fatta riesce facile giudicare della maggiore o minore permeabilità del suolo; essa è massima nell'alluvium e nei terreni sabbiosi, e minima in quelli argillosi. Per cui se vogliamo dire sommariamente dell'insieme e in linee generali, si può ritenere, in tutta la parte sinistra dell'Oder fra Troppau e Liegnitz, il suolo quasi impermeabile, fra Liegnitz e Frankfurth eminentemente permeabile; ed anche più sotto fino a Freienwalde: dopo incominciano i terreni argillosi non permeabili fino a Stettin. Sulla destra dell'Oder fra Ratibor e Oels il suolo è permeabile, più sotto poco permeabile man mano che ci si allontana dall'Oder verso oriente e nord-est; mentre lungo il corso, fino a Küstrin e qui ritornando la Warta e poi la Netze da ambo le sponde, abbiamo terreni permeabili.

(Continua)

Ing. G. CRUGNOLA.

MECCANICA APPLICATA

SUL CALCOLO STATICO DEI RECIPIENTI COMPARABILI A SUPERFICIE DI ROTAZIONE

(Continuazione e fine)

PARTE III. — TEORIA DEL MANOMETRO A MOLLA TUBULARE.

CAP. I. — CINEMATICA DELL'APPARECCHIO.

§ 1. — Relazione tra la variazione di larghezza nella sezione e la corrispondente variazione di curvatura nell'asse d'un tubo ricurvo.

Immaginiamoci un tubo ad asse curvilineo, e la cui parete abbia, come sempre, uno spessore abbastanza piccolo rispetto alle rimanenti dimensioni. Potremo supporla generata dal movimento di un dato perimetro chiuso $mnpq$ (fig. 17). Tale

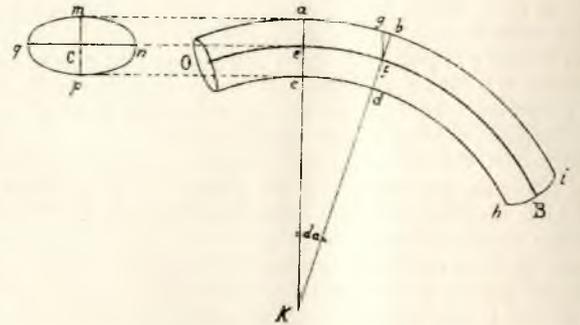


Fig. 17.

perimetro abbia due assi di simmetria mp e qn , e la loro intersezione C percorra un altro arco di curva data $OefB$ piana, l'asse mp mantenendosi diretto secondo la normale ad $OefB$, nonchè giacente nel piano normale ad $OefB$ medesima il perimetro $mnpq$ in qualunque posizione.

Ammetteremo poi che le deformazioni di cui sarà suscettibile $mnpq$ sieno simmetriche rispetto al suo punto centrale C , talchè le rette mp e qn si mantengano sempre assi di simmetria. Infine, che il distendimento o l'accorciamento delle generatrici del tubo sia affatto trascurabile.

Ciò posto, prendiamo a considerare due sezioni ac , bd trasversali, infinitamente vicine tra loro e comprendenti un angolo $aKb = d\alpha$. Sia e il punto medio della larghezza ac , f il punto medio di bd . Evidentemente il segmento eK non sarà che il raggio di curvatura ρ dell'elemento ef dell'asse OB in e . Ora abbiamo:

$$\rho = \frac{ef}{d\alpha}$$

Ma conducendo da f la parallela fga a Ka , si ha:

$$d\alpha = \text{ang } gfb = \frac{gb}{bf} = \frac{ab - ef}{bf}$$

e chiamando b la semilarghezza $ea = Cm = b$, possiamo scrivere:

$$d\alpha = \frac{ab - ef}{b}$$

e quindi:

$$\rho = \frac{b}{ab - ef} ef$$

Ora facciamo che $mnpq$ subisca una deformazione.

Giusta le ipotesi, nel secondo membro dell'equazione scritta

varierà soltanto b divenendo così $b + \Delta b$. In conseguenza ρ assumerà un nuovo valore ρ' , ed avremo:

$$\rho' = \frac{b + \Delta b}{ab - ef} ef.$$

Dividendo questa per l'antecedente otterremo:

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{b + \Delta b}{b}$$

ovvero:

$$\frac{\rho' - \rho}{\rho} = \frac{\Delta b}{b} = \frac{2 \Delta b}{2b}. \quad (66)$$

Ciò vuol dire che l'incremento proporzionale del raggio di curvatura è uguale all'incremento proporzionale della larghezza della sezione.

Se $\frac{\Delta b}{b}$ è una costante, come dovrà accadere quando il tubo sarà costituito in condizioni uniformi, mentre allora si l'uno che l'altro termine della frazione saranno quantità costanti, avremo di qui la proprietà che:

Il raggio di curvatura in qualunque punto dell'asse deformato è uguale al raggio di curvatura primitivo moltiplicato per un fattore costante.

Difatti, dalle precedenti si trae:

$$\rho' = \rho \left(1 + \frac{\Delta b}{b} \right). \quad (67)$$

Quindi consegue che se OB era primitivamente un arco circolare, un arco circolare resterà pure dopo la deformazione, sebbene di diverso raggio.

Facciamo anche qui un'ipotesi analoga a quella che suol farsi nell'ordinaria teoria delle verghe elastiche, cioè che le sezioni trasversali primitivamente piane tali si mantengano anche dopo la deformazione.

§ 2. — Luogo geometrico dell'estremo libero del tubo manometrico.

Ora sia l'arco OB incastrato in un suo estremo O (fig. 17 e 18). Dopo una deformazione divenga OB' , mantenendosi: sviluppo $OB =$ sviluppo $OB' = h$,

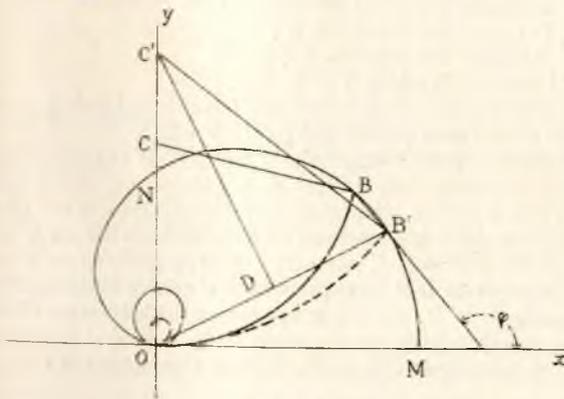


Fig. 18.

essendo h una lunghezza costante, e l'arco OB od OB' sempre circolare. Si cerca il luogo geometrico di B' , punto variabile con l'intensità della deformazione.

Conducasi Ox tangente in O ad OB , e quindi anche ad OB' , e riferiscasi per ora B' alle coordinate polari $OB' = r$ ed $\text{ang } B'Ox = \theta$.

Sia $CB = CO = \rho$ il primitivo raggio di curvatura dell'arco; $C'B' = C'O = \rho'$ quello dopo avvenuta la deformazione. Abbassando $C'D$ perpendicolare alla corda OB' , avremo:

$$r = OB' = 2OD = 2\rho' \text{sen } OC'D.$$

Ma si ha:

$$\text{ang } OC'D = \text{ang } B'Ox = \theta,$$

ed inoltre:

$$h = \rho' \text{ang } B'C'O = 2\rho'\theta;$$

sarà dunque:

$$r = \frac{h \text{sen } \theta}{\theta}, \quad (68)$$

l'equazione polare del luogo richiesto.

La curva completa che lo costituisce è una specie di spirale $MB'BN O$ composta d'infiniti cappii tangenti nel polo all'asse polare Ox , e che lo taglia normalmente in M . Nel caso nostro, in cui OB è l'asse di un tubo manometrico, l'estremo libero B non descrive che un piccolo arco della curva (68).

§ 3. — Relazione tra lo spostamento dell'estremo libero e l'incremento di larghezza della sezione trasversale.

Riferiamo ora a coordinate cartesiane aventi la stessa origine O e l'asse delle x coincidente con l'asse polare testè considerato. Dette x' ed y' le coordinate di B' , avremo evidentemente:

$$x' = \rho' \text{sen } \frac{h}{\rho'} \quad y' = \rho' \left(1 - \cos \frac{h}{\rho'} \right).$$

Le coordinate x, y di B sarebbero invece:

$$x = \rho \text{sen } \frac{h}{\rho}, \quad y = \rho \left(1 - \cos \frac{h}{\rho} \right).$$

Quindi sarà, sottraendo:

$$x' - x = \rho' \text{sen } \frac{h}{\rho'} - \rho \text{sen } \frac{h}{\rho}$$

$$y' - y = \rho' \left(1 - \cos \frac{h}{\rho'} \right) - \rho \left(1 - \cos \frac{h}{\rho} \right).$$

Atteso la piccolezza di $\rho' - \rho$, ne trascureremo il quadrato e le potenze superiori. Allora, detto per brevità α_1 l'angolo sotteso dell'arco h prima della deformazione, cioè posto:

$$\alpha_1 = \frac{h}{\rho},$$

potremo scrivere:

$$\text{sen } \frac{h}{\rho'} = \text{sen } \alpha_1 \left(1 - \frac{\rho' - \rho}{\rho} \right) = \text{sen } \alpha_1 - \frac{\rho' - \rho}{\rho} \alpha_1 \cos \alpha_1$$

e parimenti:

$$\cos \frac{h}{\rho'} = \cos \alpha_1 + \frac{\rho' - \rho}{\rho} \alpha_1 \text{sen } \alpha_1.$$

Tenendo presente quanto si è detto, a riduzioni fatte si otterrà così dalle precedenti espressioni:

$$x' - x = (\rho' - \rho) (\text{sen } \alpha_1 - \alpha_1 \cos \alpha_1)$$

$$y' - y = (\rho' - \rho) (1 - \cos \alpha_1 - \alpha_1 \text{sen } \alpha_1).$$

L'angolo ϕ formato dalla congiungente BB' coll'asse delle ascisse sarà dunque dato da

$$\text{tang } \phi = \frac{y' - y}{x' - x} = \frac{1 - \cos \alpha_1 - \alpha_1 \text{sen } \alpha_1}{\text{sen } \alpha_1 - \alpha_1 \cos \alpha_1}. \quad (69)$$

La lunghezza BB' sarà poi, chiamandola Δs :

$$\Delta s = (\rho' - \rho) \sqrt{(\text{sen } \alpha_1 - \alpha_1 \cos \alpha_1)^2 + (1 - \cos \alpha_1 - \alpha_1 \text{sen } \alpha_1)^2}$$

ovvero, riducendo:

$$\Delta s = (\rho' - \rho) \sqrt{(\alpha_1 - \text{sen } \alpha_1)^2 + (1 - \cos \alpha_1)^2},$$

e quindi, per (66):

$$\Delta s = \rho \frac{\Delta b}{b} \sqrt{(\alpha_1 - \text{sen } \alpha_1)^2 + (1 - \cos \alpha_1)^2}. \quad (70)$$

§ 4. — Concretata la disposizione dell'apparecchio, si trova una relazione tra lo spostamento dell'estremo libero e lo spostamento angolare dell'indice manometrico.

Prenderemo più particolarmente a studiare un manometro sistema Bourdon, avente la disposizione qui appresso indi-

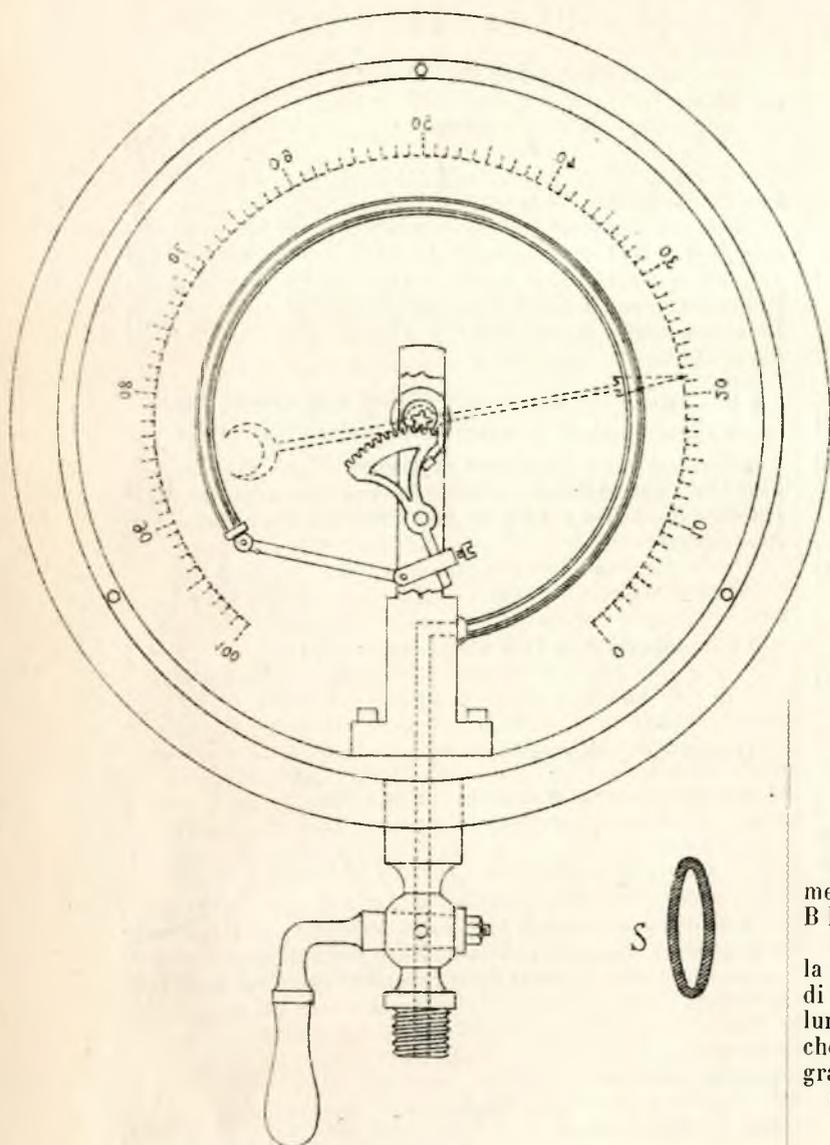


Fig. 19.

cata, la quale trovasi pure adottata per manometri da prove idrauliche.

La fig. 19 rappresenta l'interno della scatola cilindrica che protegge l'apparecchio, rimossane la lastra di tergo. Tutti i pezzi sono raccomandati ad un unico pilastro centrale metallico. A fianco di esso e nella parte inferiore sta saldato l'estremo fisso del tubo elastico, di rame, il cui asse si estende per circa 0,8 di un'intera circonferenza.

Mediante il piede forato del pilastro si può porre in comunicazione il tubo elastico col recipiente di cui si vuol misurare la pressione. L'estremo mobile, chiuso, porta una piccola biella, di cui l'altro capo comanda il bottone d'una manovella solidale ad un settore di ruota dentata. Il settore ingrana in un pignone o rocchetto, all'asse del quale è infine calettato l'indice della mostra. Una leggera molla a spirale, unita per un capo all'asse del rocchetto e per l'altro al sostegno, mantiene i denti dell'ingranaggio, nonché tutti i pezzi fra loro contigui a mutuo contatto, onde evitare ogni giuoco che possa rendere incerta la posizione dell'indice.

Il modello riprodotto nella figura (scala 1 : 2) darebbe la possibilità di leggere le pressioni in colonna d'acqua da 0 a 100 metri, di decimetro in decimetro.

La sezione trasversale del tubo elastico è rappresentata a fianco (S) in grandezza naturale. È un'ellisse, i cui assi stanno fra loro nel rapporto di 1 a 4 circa.

Ciò premesso, rappresentino (fig. 20):

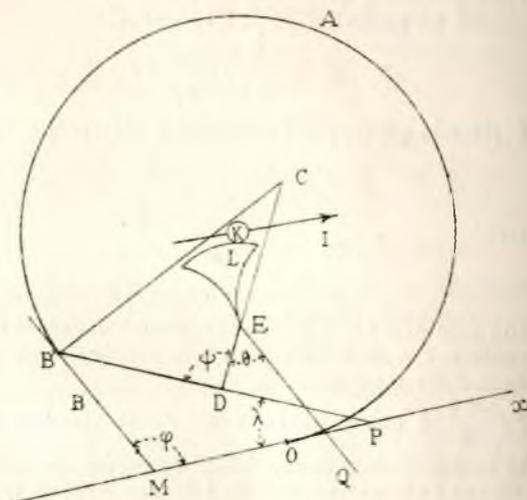


Fig. 20.

O A B' l'asse curvilineo, fisso in O, del tubo elastico quale si disporrà per una data pressione esercitata da un fluido introdotto;
 B' l'estremo libero, la cui posizione originaria era B;
 M O x la tangente in O ad O A B';
 B' D l'asse della biella;
 D E il raggio della manovella;
 E L il settore dentato;
 K il pignone o rocchetto;
 I l'indice.

Vediamo quale relazione si possa stabilire tra lo spostamento angolare dell'indice ed un corrispondente spostamento B B' dell'estremo libero B.

Determinato l'angolo ϕ mercè la formola (69), si conduca la retta B' B M inclinata di ϕ su M O x. Atteso la piccolezza di B B' potremo ritenere che il movimento di B' si compia lungo la B' M. Conducasi una direzione arbitraria fissa E Q, che potrebbe essere quella di E D, quando I è sullo zero della graduazione.

Chiameremo poi:

- l_1 il raggio E D della manovella;
- l_2 il raggio del settore E L;
- l_3 il raggio del pignone K;
- ϕ l'angolo variabile D E Q.

Ci contenteremo di stabilire una formola valevole per movimenti abbastanza piccoli dei punti B' e D.

Si consideri il movimento della biella B' D corrispondente ad un movimento infinitesimo di B'. Sappiamo dalla cinematica che il centro istantaneo di rotazione trovasi nel punto intersezione delle due normali alle curve descritte da B' e da D. Condotta perciò B' C normale a B' M, e prolungato il raggio E D secondo D E C, avremo in C il centro istantaneo del movimento di B' D. Sia ds lo spostamento elementare di B' e ds_1 il corrispondente spostamento di D. C B' e C D essendo i raggi di istantanea rotazione, avremo l'eguaglianza:

$$\frac{ds}{ds_1} = \frac{CB'}{CD}$$

Ma

$$\frac{CB'}{CD} = \frac{\text{sen } B' D E}{\text{sen } C B' D}$$

quindi:

$$\frac{ds}{ds_1} = \frac{\text{sen } B' D E}{\text{sen } C B' D}$$

Prolunghisi B' D sino all'incontro P con l'asse O x, e dicasi brevemente:

$$\text{ang } B' P O = \lambda \quad , \quad \text{ang } B' D E = \psi.$$

Dal triangolo $M B' P$ abbiamo:

$$\text{ang } P B' M + \phi + \lambda = \pi.$$

Ma

$$\text{ang } P B' M = \frac{\pi}{2} - \text{ang } C B' D;$$

dunque, eliminato $\text{ang } P B' M$, avremo:

$$\text{ang } C B' D = \phi + \lambda - \frac{\pi}{2}.$$

Sostituendo, sarà quindi:

$$\frac{ds}{ds_1} = - \frac{\text{sen } \psi}{\cos(\phi + \lambda)}.$$

Detto poi $d\omega$ lo spostamento angolare dell'indice I o del pignone K , corrispondente allo spostamento ds , abbiamo inoltre:

$$d\theta = \frac{ds_1}{l_1}, \quad d\omega = \frac{l_2}{l_2} d\theta.$$

E quindi, finalmente:

$$d\omega = - \frac{l_2}{l_1 l_2} \frac{\cos(\phi + \lambda)}{\text{sen } \psi} ds. \quad (71)$$

Allo scopo di evitare una componente secondo DE , la quale aumenterebbe gli attriti sul perno E , è bene mantenere ψ in prossimità del valore $\frac{\pi}{2}$.

Quindi, senz'altro, vediamo che per render massimo il valore assoluto di $d\omega$ corrispondentemente ad un dato ds , conviene che $\phi + \lambda$ oscilli intorno al valore π , od in altri termini che l'asse $B'D$ della biella sia diretto quanto è più possibile secondo la BM . L'avvertenza non trovasi precisamente osservata nel tipo preso a modello. Supposta verificata l'indicata condizione nella posizione iniziale del sistema, siccome al crescere della pressione i valori assoluti di $\cos(\phi + \lambda)$ e di $\text{sen } \psi$ poco variano, ed in ogni caso diminuiscono insieme ambedue, potremo approssimativamente ritenere che la seconda frazione della (71) mantengasi costantemente uguale a -1 , e scriver quindi:

$$d\omega = \frac{l_2}{l_1 l_2} ds,$$

cioè integrando entro piccoli intervalli finiti corrispondenti $\Delta\omega$ e Δs :

$$\Delta\omega = \frac{l_2}{l_1 l_2} \Delta s, \quad (72)$$

che sarebbesi dedotta immediatamente dalla considerazione del caso in cui il movimento di B' fosse comunicato equipolentemente a D .

CAP. II. — STATICA DELL'APPARECCHIO.

§ 1. — Causa meccanica a cui è dovuto lo spostamento dell'estremo libero.

Fin qui abbiamo considerati i movimenti che avvengono nell'apparecchio indipendentemente dalle cause che possono produrli. Ora, avanti che passiamo ad altro, dobbiamo proporci e poi risolvere un quesito. Un tubo elastico ricurvo, anche a sezione circolare, tende o no a svolgersi pel fatto di un eccesso di pressione interna sull'esterna? O, più chiaramente, la pressione dà luogo ad un momento flettente nel piano dell'asse ricurvo del tubo? Rappresenti $abcd$ (fig. 21) il tubo, ed OA il suo asse, curva piana; fe una sezione trasversale qualunque. Tutte le pressioni elementari agenti sulle diverse areole, in cui può concepirsi decomposta la porzione di superficie canaloidale rappresentata in $bcef$, non possono dare una risultante nulla, come avverrebbe in un tubo cilindrico; giacchè la somma complessiva degli elementi, da cui risulta la superficie proiettantesi in $fDAb$, è maggiore della somma di quelli costituenti la superficie che si proietta in

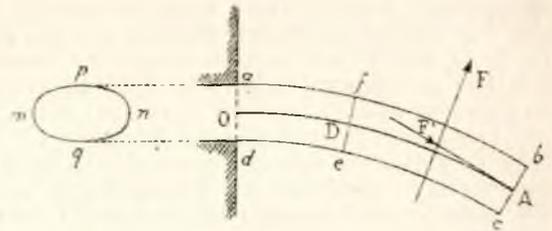


Fig. 21.

$DAce$. Ciò è una conseguenza del teorema di Guldino. Ora, le pressioni elementari agenti sulla prima serie di elementi superficiali danno evidentemente una risultante diretta verso l'esterno della curva DA , ossia verso l'alto della figura, mentre quelle agenti sulla seconda serie danno una risultante diretta verso l'interno di DA , cioè verso il basso; e, per quel che ora s'è detto, questa risultante dev'essere minore della prima. Da ciò segue che la risultante totale delle pressioni agenti sul tronco canaloidale $bcef$ deve essere una forza finita F , il cui momento, rispetto all'asse neutro della sezione fe , deve tendere a farla ruotare diminuendo la convessità di DA . Dunque parrebbe che un tubo ricurvo, sotto l'azione di una pressione interna eccedente l'esterna, tendesse a diminuire la propria curvatura pel fatto esposto.

Se non che il ragionamento precedente non è completo. Sul fondo bc la pressione dà luogo ad una certa nuova risultante F' diretta secondo la tangente ad OA in A , il cui momento, rispetto a D , è di segno opposto a quello di F , e che quindi tende invece ad aumentare la convessità di OA . Ora noi vedremo che questi due momenti si distruggono esattamente, sicchè, pel fatto puro e semplice delle risultanti F ed F' , l'asse del tubo non subirà effettivamente deformazione alcuna.

Ma supponiamo di dare alln sezione $mnpq$ del tubo stesso una forma allungata come in figura. Allora la pressione interna (supposta prevalente) tenderà, come dimostreremo fra poco, a rendere circolare la $mnpq$ medesima, e ne verrà la conseguenza segnalata nel § 1, Cap. I, cioè che la curvatura dell'asse OA diminuisce (*). Oramai ci sarà facile valutare questa deformazione se invocheremo le teorie esposte nella Parte I.

La verità poi del teorema poco sopra enunciato potrà vedersi nel modo seguente.

Sia, come accade nel modello da noi scelto, l'asse del tubo manometrico BQA (fig. 22) un arco di circolo, O il centro, A l'estremo libero, dove il tubo è chiuso da un fondo.

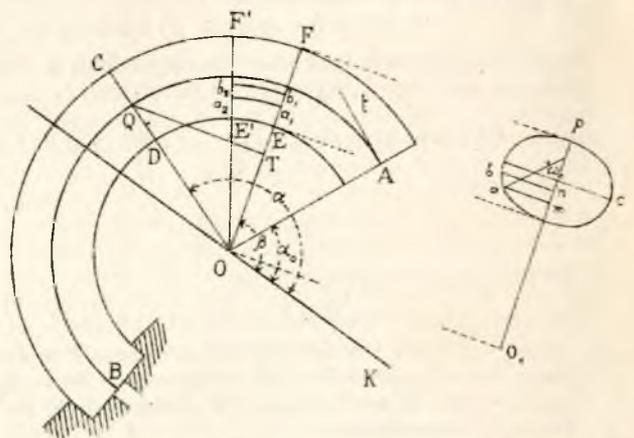


Fig. 22.

(*) A rigore parlando, anche nel tubo a sezione circolare questa conseguenza avrebbe luogo; e ciò non per altro se non perchè sotto l'azione della pressione il diametro si dilata. Ma, atteso il grande valore del modulo E d'elasticità nei metalli, vedesi subito che la deformazione, di cui parliamo, è debolissima, nè per noi è da tenerne conto.

Rappresenti, a parte, abc la sezione retta del tubo, sezione che supponiamo sempre dotata di due assi di simmetria, di cui uno, O, mp , normale all'asse di rotazione (asse di BQA) proiettantesi in O od O_1 . Sia il tubo soggetto ad una pressione unitaria interna P_i e ad una esterna P_e . Si ricerca il momento flettente μ , a cui danno luogo le pressioni medesime rispetto ad una sezione variabile CD , ed al quale momento per conseguenza dovrà essere uguale quello delle forze molecolari sviluppatosi nella sezione CD , ad equilibrio stabilito.

Nel tronco ACD consideriamo due altre sezioni trasversali $EF, E'F'$ inclinate rispetto ad un asse OK (collocato nel piano della figura, ma, del resto, arbitrario) di un angolo β e di un angolo $\beta + d\beta$ rispettivamente: inoltre, fra queste due sezioni, un elemento $a, a_2 b_2 b_1$, di parete generato dalla rotazione d'un archetto elementare $ab = d\sigma$ del meridiano rappresentato in abc .

Siano dipoi:

r_1 il raggio ($= m O_1$) del parallelo a cui appartiene il punto a ;

ω l'angolo formato dalla normale in a col raggio del parallelo, ovvero con la retta $O_1 p$;

ξ l'ordinata am ;

$\xi + d\xi$ l'ordinata b_n ;

α il valore di β corrispondente a CD ;

α_0 il valore di β corrispondente alla sezione terminale A ;

$P_i - P_e = P$ per brevità.

Allora avremo che, essendo l'area dell'elemento $a, a_2 b_2 b_1$ uguale ad $r_1 d\beta d\sigma$, la pressione elementare su di esso agente sarà:

$$P r_1 d\beta d\sigma,$$

e la proiezione su $O_1 p$ di tal pressione sarà l'infinitesimo di secondo ordine:

$$d^2 f = P r_1 d\beta d\sigma \cos \omega.$$

Ma è evidente che

$$d\sigma \cos \omega = d\xi;$$

perciò avremo:

$$d^2 f = P r_1 d\beta d\xi.$$

Ora, sia Q il centro di CD , e per conseguenza la proiezione dell'asse neutro della sezione rappresentata dal segmento stesso. Abbassando la perpendicolare QT su di OEF , avremo che il momento $d^2 \mu'$ di $d^2 f$ rispetto a quella sezione sarà:

$$d^2 \mu' = QT \cdot P r_1 d\beta d\xi.$$

Ma avendosi dalla figura:

$$QT = \rho \sin(\alpha - \beta),$$

dove ρ è la r_1 corrispondente al punto centrale di abc ed uguale ad OQ , potremo scrivere:

$$d^2 \mu' = \rho P r_1 \sin(\alpha - \beta) d\beta d\xi,$$

e quindi integrando fra i limiti corrispondenti a tutto il perimetro abc per ξ , e fra α_0 ed α per β , sarà:

$$\mu' = \rho P \int \int r_1 \sin(\alpha - \beta) d\beta d\xi = \rho P \int \sin(\alpha - \beta) d\beta \int r_1 d\xi.$$

Ed essendo:

$$\int r_1 d\xi = \Omega,$$

area racchiusa da abc , avremo:

$$\mu' = \rho P \Omega (1 - \cos[\alpha - \alpha_0]).$$

Ora, sul fondo A si esercita una pressione PQ diretta secondo At tangente ad AQB . Il braccio di leva relativo all'asse neutro Q ne è dunque la distanza di Q da At . Ma questa è, come scorgesi:

$$\rho (1 - \cos[\alpha - \alpha_0]);$$

dunque il momento μ'' della detta PQ è, tenendo conto della sua direzione opposta a μ' :

$$\mu'' = -\rho P \Omega (1 - \cos[\alpha - \alpha_0]).$$

E quindi, finalmente, il momento μ totale è:

$$\mu = \mu' + \mu'' = 0. \quad \text{C. D. D.}$$

Di qui per (3) deriva, purchè la sezione del tubo rimanga indeformata, $\alpha' - \alpha = 0$. Ciò quindi avrà luogo quando la sezione stessa è circolare.

Insomma la deformazione del tubo a sezione oblunga accade *unicamente* pel deformarsi di questa.

§ 2. — Deformazione prodotta

da una pressione interna uniforme nella sezione ellittica.

Prima approssimazione. — Sempre nell'ipotesi che il raggio ρ di curvatura dell'asse del tubo sia molto grande rispetto alla larghezza $2b$ della sezione trasversale, riprendiamo l'espressione (3) dello spostamento angolare di una data sezione. Appliciamolo all'anello di tubo che ha S (perimetro) per direttrice ed l per lunghezza comune delle generatrici. Tale anello può, senza inconveniente, venir trattato come una verga di sezione $\epsilon \cdot l$, giacchè le formole date nella Parte I, Cap. I, non sono basate sull'ipotesi particolare che il suo asse, qui costituito da S , sia una curva chiusa piuttosto che aperta.

Un arco ellittico, ai cui estremi corrispondono le ascisse O ed x , da noi può essere considerato come incastrato all'origine, in quanto che la sua normale iniziale non ruota; allora il momento μ esercitato sul punto d'ascissa x è, come sappiamo, il valore (60) cambiato di segno. Essendo dunque:

$$d\sigma = \frac{d\tau}{dx} dx, \quad \frac{d\sigma}{dx} = \frac{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \theta}}{\cos \theta}, \quad dx = a \cos \theta d\theta,$$

si avrà sostituendo:

$$\alpha' - \alpha = \frac{P a^3}{2 E i} \int_0^{\theta} \left(\frac{e^2}{2} + \frac{e^4}{16} + \dots - e^2 \cos^3 \theta \right) \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \theta} d\theta.$$

E sviluppando il radicale in serie, eseguendo i prodotti e trascurando la potenza 6^a e superiori di e (qui poco inferiore all'unità), otterremo:

$$\alpha' - \alpha = \frac{P a^3}{2 E i} \int_0^{\theta} \left(\frac{e^2}{2} + \frac{e^4}{16} - e^2 \cos^3 \theta - \frac{e^4}{4} \sin^2 \theta + \frac{e^4}{2} \sin^2 \theta \cos^2 \theta \right) d\theta,$$

dalla quale ricaviamo in termini finiti:

$$\alpha' - \alpha = -\frac{P a^3}{4 E i} \left\{ \sin \theta \cos \theta \left(e^2 - \frac{e^4}{8} \right) - \sin^3 \theta \cos \theta \frac{e^4}{4} \right\}.$$

L'incremento Δa dell'asse maggiore dell'ellisse riducesi evidentemente al solo incremento dell'ascissa del punto di coordinate $a, 0$; quindi, per (5), avremo:

$$\Delta a = \int_0^b (\alpha' - \alpha) dy = b \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\alpha' - \alpha) \sin \theta d\theta,$$

e ponendo per $\alpha' - \alpha$ il valore testè ottenuto:

$$\Delta a = -\frac{P a^3 b}{4 E i} \left\{ \left(e^2 - \frac{e^4}{8} \right) \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \theta \cos \theta d\theta - \frac{e^4}{4} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^4 \theta \cos \theta d\theta \right\}.$$

Indi, ad integrazioni fatte, risulta:

$$\Delta a = -\frac{P a^3 b}{12 E i} \left(e^2 - \frac{11}{40} e^4 \right),$$

e questa, ricordando che si ha:

$$i = \frac{\epsilon^3}{12},$$

diverrà:

$$\Delta a = -\frac{P a^3 b e^2}{E \epsilon^3} \left(1 - \frac{11}{40} e^2 \right). \quad (73)$$

L'incremento dell'asse minore si otterrà evidentemente da:

$$\Delta b = \int_a^{a_0} (x' - x) dx = -a \int_0^{\frac{\pi}{2}} (x' - x) \cos \theta d\theta$$

$$\Delta b = \frac{P a^4}{4 E i} \left(e^2 - \frac{e^4}{8} \right) \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta \cos^3 \theta d\theta - \frac{e^4}{4} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^3 \theta \cos^3 \theta d\theta ;$$

ciò che conduce alla:

$$\Delta b = \frac{P a^4 e^2}{E \varepsilon^3} \left(1 - \frac{9}{40} e^2 \right). \quad (74)$$

Così l'eccentricità dell'ellisse tende a diminuire, ossia la curva tende ad assumere la forma circolare.

Dalle espressioni precedenti deriva:

$$\frac{\Delta b}{\Delta a} = - \frac{a}{b} \frac{40 - 9 e^2}{40 - 11 e^2};$$

ovvero all'incirca:

$$\frac{\Delta b}{\Delta a} = - \frac{a}{b}$$

con un errore massimo di pochi centesimi del valor vero.

Ulteriori approssimazioni. — Senonchè i valori degli elementi ellittici che figurano nelle formole testè ottenute dovrebbero essere, rigorosamente parlando, non già gli aventi luogo prima della deformazione, sibbene quelli che si verificano ad equilibrio stabilito, mentre su tale ipotesi si basano le relazioni statiche poste da principio. Sicchè nei secondi membri delle espressioni di Δa e Δb le a , b , e quindi e , sono effettivamente quantità incognite. Però possiamo arrivare a determinarle con sufficiente esattezza, mediante successive approssimazioni.

Potrà incominciarsi dal porre in (73) e (74) i valori primitivi a , b , e . Così avremo in $a + \Delta a$ e $b + \Delta b$ due primi valori approssimativi dei semiassi finali. Si porrà quindi insieme ai precedenti:

$$(e + \Delta e)^2 = 1 - \left(\frac{b + \Delta b}{a + \Delta a} \right)^2$$

invece di e^2 nelle formole stesse (73) e (74). In tal guisa si otterranno nuovi valori per gl'incrementi degli assi, e così di seguito.

Ma è chiaro che, attesa la piccolezza delle deformazioni, l'approssimazione deve risultare assai rapida, e generalmente ne basteranno due successive, se pure non basta la prima soltanto.

§ 3. — Espressioni finali di Δs e Δm . Cenno sul barometro di Bourdon.

È agevole ora calcolare lo spostamento Δs dell'estremo libero dell'asse del tubo in funzione della pressione P .

Sostituendo il valore di Δb , ottenuto come precedentemente s'è detto, in (70), ed aggiungendo al simbolo b un indice 0 per ricordare che esso designa il valore primitivo del semi-asse minore, ne consegue:

$$\Delta s = \frac{P a^4 e^2 \rho}{E b_0 \varepsilon^3} \left(1 - \frac{9}{40} e^2 \right) \sqrt{(\alpha_1 - \sin \alpha_1)^2 + (1 - \cos \alpha_1)^2} \quad (75)$$

Se l'asse del tubo descrive un numero intero n di circonferenze (*), si avrà quindi allora:

$$\Delta s = 2 n \pi \frac{P a^4 e^2 \rho}{E b_0 \varepsilon^3} \left(1 - \frac{9}{40} e^2 \right),$$

la quale osservando che $2 n \pi \rho = h$ lunghezza sviluppata dell'asse del tubo, riducesi più semplicemente a:

$$\Delta s = \frac{P a^4 e^2}{E b_0 \varepsilon^3} h \left(1 - \frac{9}{40} e^2 \right). \quad (76)$$

Questo, o (75), sostituito in (71) per ds ci darà così l'approssimato spostamento angolare dell'indice al crescere della pressione da 0 a P . Se sono soddisfatte le condizioni indicate in fondo al § 4 del Cap. 1, e se è quindi applicabile la (72), in tal caso si avrà:

$$\Delta \alpha = \frac{l_2}{l_1} \frac{P a^4 e^2 \rho}{E b_0 \varepsilon^3} \left(1 - \frac{9}{40} e^2 \right) \sqrt{(\alpha_1 - \sin \alpha_1)^2 + (1 - \cos \alpha_1)^2} \quad (77)$$

Così le sensibilità di due manometri uguali in tutto, salvo che per gli spessori delle pareti dei tubi, avranno il rapporto inverso dei cubi degli spessori. Ma non occorre diffondersi in simili confronti, ben facili a farsi.

Un istrumento costruttivamente molto simile al manometro a molla tubulare è il *barometro di Bourdon*.

Le formole applicabili al calcolo degli sforzi e delle deformazioni del tubo manometrico si adattano parimenti al tubo elastico barometrico, giacchè non abbiamo fatto alcuna ipotesi speciale sul valore di P , che può anche essere una quantità negativa. Chiamammo P la differenza fra la pressione interna P_i e l'esterna P_e supposte agenti sul tubo. Nulla vieta di ritenere $P_i = 0$, ipotesi che si verificherà qualora vi si faccia il vuoto nell'interno. P_e potrà essere la pressione atmosferica, variabile da un istante all'altro.

Abbiamo visto che i cambiamenti Δa e Δb indotti dalla pressione nei semiassi dell'ellisse sezione sono l'uno di segno opposto e l'altro dello stesso segno dei cambiamenti di quella. Dunque nel caso d'aumento della pressione esterna, supposta prevalente, a tenderà ad aumentare e b a diminuire, ossia la forma ellittica della sezione tenderà a schiacciarsi viemmaggiamente. In conseguenza il raggio di curvatura dell'asse del tubo decrescerà. Ciò è quanto accade nel barometro Bourdon.

Anche qui la sollecitazione massima ha luogo internamente, agli estremi dell'asse maggiore, ma è di compressione (*).

Tralasciando quanto concerne particolari costruttivi, vogliamo solamente rispondere ad un quesito che taluno potrà farsi. Vediamo cioè per qual ragione nel tubo barometrico occorra fare internamente il vuoto. Gli spostamenti Δs dipendono dalla $P = P_i - P_e$, e la (75) può scriversi:

$$\Delta s = K (P_i - P_e),$$

dove K è un certo fattore. Supponiamo che P_e assuma un nuovo valore più grande P'_e . Lo spostamento diverrà, come sembra:

$$\Delta' s = K (P_i - P'_e)$$

trascurando la differenza fra il valore di K nel primo caso e quello nel secondo. Ne avremo con la sottrazione:

$$\Delta' s - \Delta s = K (P_e - P'_e),$$

spostamento dovuto all'innalzarsi della pressione esterna da P_e a P'_e . Ora in quest'espressione non entra P_i . A che dunque gioverà renderla uguale a 0, piuttosto che ad altro valore determinato, se la sensibilità dell'apparecchio non ne risente vantaggio?

Ma per poco che si rifletta, si scorderà il lato debole del ragionamento precedente. Dato pure che sieno, entro certi limiti, trascurabili le variazioni di K , non altrettanto può dirsi di P_i , quand'essa è una quantità finita. Difatti lo schiacciamento del tubo viene necessariamente accompagnato da una diminuzione del suo volume interno, mentre le aree ellittiche racchiuse entro un dato perimetro crescono inversamente all'eccentricità. L'area è massima quando l'eccentricità è nulla ed è nulla, cioè minima, quando l'eccentricità è 1. Ora la legge di Mariotte esige che P_i varii inversamente a quel volume. Ne consegue che l'incremento della pressione esterna non può operare una deformazione nel tubo senza che ciò sia accompagnato da un incremento della pressione interna. Non può insomma evitarsi che P_e e P_i crescano insieme ed insieme diminuiscano, tendendo così l'una a di-

(*) Il manometro Schnitz differisce appunto dal manometro Bourdon pel fatto che il tubo descrive più circonferenze o spire invece di una o di una parte soltanto.

(*) V. Parte II, cap. I, § 2.

struggere l'effetto dell'altra. Invece dell'equazione precedente dovrebbero scrivere piuttosto:

$$\Delta s - \Delta s = K (P_e - P'_e - P_i + P'_i),$$

dove $P'_i > P_i$. Al contrario, facendo il vuoto, si avrà:

$$P'_i = P_i = 0.$$

Allora soltanto l'estremo libero potrà spostarsi di quantità a un dipresso proporzionali agli incrementi della pressione atmosferica.

§ 4. — Limite di sollecitazione. Calcolo numerico.

Allorchè la mobilità del tubo manometrico si mantenga sempre allo stesso grado e, cessata la pressione, l'estremo libero ritorni esattamente al punto origine, occorre primieramente che le deformazioni subite siano *elastiche*, e in nessun modo sensibile *permanenti*. Nel piano dell'asse curvilineo del tubo il momento flettente è nullo, e quindi le tensioni longitudinali T sono le stesse che nel tubo cilindrico. Di queste non v'ha luogo a preoccuparsi. Considerando le forze nel piano della sezione trasversale, vedemmo poi che la sollecitazione massima ha luogo sugli estremi dell'asse maggiore dell'ellisse perimetro interno. Sostituendo nella (45) i valori relativi a quel punto, ne abbiamo:

$$R = Pa \left\{ \frac{3ae^2}{2\varepsilon^2} \left(1 + \frac{e^2}{8} \right) + \frac{1}{\varepsilon} \right\}.$$

Lo sforzo è di trazione, e non dovrà dunque superare il limite d'elasticità. Al quale uguagliando pure la R che figura in (61), potrà aversi lo spessore ε . Se invece vogliasi il numero N di atmosfere a cui si può impunemente cimentare un dato tubo manometrico, non si ha che porre $P=10333$ N, e risolvere in N l'equazione precedente. Ne otterremo:

$$N = \frac{R}{10333a} \left\{ \frac{3ae^2}{2\varepsilon^2} \left(1 + \frac{e^2}{8} \right) + \frac{1}{\varepsilon} \right\}. \quad (78)$$

Poco importerà qui porre per a e per e i valori originari piuttosto che quelli assunti ad N atmosfere, la differenza dei risultati potendo venire trascurata.

Esempio numerico. — Si ha un tubo manometrico di rame, determinato dalle costanti originarie seguenti:

$$a = 9, \quad b = 2,5, \quad \rho = 58, \quad \varepsilon = 0,8, \quad \alpha_1 = 294^\circ.$$

Le misure lineari sono in millimetri. Si domanda:

1° A quante atm. si può cimentare il tubo senza deteriorarlo;

2° Lo spostamento Δs corrispondente ad 1 atm. di pressione.

Pel rame battuto si ha il modulo $E=11000$, ed il carico al limite di elasticità $R=12$. Ora:

$$e^2 = 1 - \left(\frac{b}{a} \right)^2 = 1 - \left(\frac{2,5}{9} \right)^2 = 0,923.$$

Per rispondere al primo quesito non abbiamo che ad applicare la (78). Avvertendo di cambiare debitamente l'unità di misura, si otterrà:

$$N = \frac{12}{0,01033 \times 9} \left\{ \frac{3 \times 9 \times 0,923}{2 \times 0,64} \left(1 + \frac{0,923}{8} \right) + \frac{1}{0,8} \right\} = 5,6.$$

È questo il numero d'atmofere massimo a cui potrà venir cimentato il manometro.

Ora calcoliamo Δa e Δb per $P = \text{kg. } 0,01$ a mmq.

Da (74) e (73) abbiamo:

$$\Delta b = \frac{0,01 \times 9^4 \times 0,923}{11000 \times 0,8^3} \left(1 - 9 \frac{0,923}{40} \right) = 0,009 \text{ mm.}$$

$$\Delta a = -0,002 \text{ mm.}$$

Si vede quindi che basta arrestarci alla prima approssimazione, e che le Δs risulteranno sensibilmente proporzionali alle P .

Avendosi: $\alpha_1 = 5,132$, $\text{sen } \alpha_1 = -0,913$, $\text{cos } \alpha_1 = 0,406$, otterremo per (70):

$$\Delta s = 58 \frac{0,009}{2,5} \sqrt{(5,132 + 0,913)^2 + (1 - 0,406)^2} = 1,27.$$

Lo spostamento dell'estremo libero per N' atm. di pressione sarebbe quindi di mm. $1,27 N'$.

Sia poi:

$$l_1 = 15, \quad l_2 = 23, \quad l_3 = 3.$$

Si avrà da (72):

$$\Delta \omega = \frac{23}{15 \times 3} 1,27 N' = 0,649 N',$$

spostamento angolare in parti di raggio, ossia in gradi:

$$\Delta \omega = 37'14'' \times N' \text{ circa.}$$

Ogni metro di colonna d'acqua porterà un moto angolare nell'indice di $3'43''$.

Roma, novembre 1897.

Ing. PIETRO ALIBRANDI.

BIBLIOGRAFIA

Ing. GIACOMO ZUCHELLI. — *Sul fiume Reno*; Discorso letto al Collegio degli Ingegneri e Architetti in Bologna il 13 giugno 1897. — Op. in-8° gr. di pag. 49. Estr. dagli *Atti del Collegio*. — Bologna, 1897.

La recente rotta dell'argine sinistro del Reno a Zenaveccia (21 agosto 1896) avendo sollevate nuove preoccupazioni sulla sufficienza ed efficacia del sistema di difesa idraulica del Reno, il Consiglio Direttivo del Collegio degli Ingegneri in Bologna invitava molto opportunamente l'ing. Giacomo Zucchelli a riassumere in una conferenza lo stato della questione.

L'egregio oratore, memore della massima: *Historia vitae magistra*, incomincia col rendere omaggio a quegli uomini insigni che come Benedetto Castelli, Eustachio Manfredi, Domenico Cassini, Paolo Frisio, Domenico Guglielmini ed altri molti si occuparono in passato della questione del Reno, prende come punto di partenza l'assetto idraulico delle provincie di Bologna, Ferrara e Ravenna allo spirare del secolo decimosesto e riassume diligentemente la storia della questione fino alla metà del secolo scorso, e fa notare il rilevante progresso ottenutosi in questi ultimi tempi, e dovuto alle arginature, al risanamento, ed alla coltivazione dei terreni conquistati. Con tutto ciò vuolsi ancora provvedere all'insufficienza degli scoli della parte più bassa e più feconda del territorio di quella provincia — argomento che, come i lettori ricorderanno, è stato altra volta trattato dallo stesso ing. Zucchelli, ed esaurito, — ed ai pericoli di nuove irruzioni simili a quella di Zenaveccia, il cui disastro mise in allarmi proprietari e coloni lungo tutto il percorso del fiume.

Fortunatamente trattasi qui più di un difetto locale dell'arginatura, che non dell'intero sistema di difesa, il quale se non ha acquistato ancora tutta la robustezza desiderabile, può venire a dovere perfezionato. Ora il vizio da cui, pur troppo, sono affette alcune località dell'arginatura di Reno, è quello dell'instabilità del terreno sopra cui l'arginatura è impiantata. Erano originariamente crateri palustri sui quali la colmata dei torrenti distese una crosta minerale. Nissuna meraviglia adunque che in alcuni punti l'argine per il proprio peso sprofondi. Ma il vizio non è incurabile, ne dobbiamo allarmarcene al punto da giudicare l'attuale sistema di difesa di Reno insostenibile. Certo le operazioni occorrenti non devono venire subordinate a considerazioni finanziarie, ma devono essere eseguite ovunque e appena se ne manifesta il bisogno, ed in quella misura che è giudicata necessaria dall'autorità tecnica competente. E se si fosse cominciato ad applicare il rimedio consolidatore delle colmate cinquant'anni addietro, a quest'ora la difesa di Reno non desterebbe le preoccupazioni delle quali siamo testimoni.

D'altronde non è opportuno promuovere trasformazioni nel sistema, finanziariamente inammissibili, ed irte di difficoltà d'ogni genere, che sviano dal proposito più utile del perfezionamento del sistema attuale, cui devesi rivolgere ogni pensiero ed ogni studio.

Queste le conclusioni, o diremo meglio il brevissimo riassunto della memoria. Notiamo ancora che l'egregio Autore ha pure aperto una parentesi per dire che: « Una Nazione come l'Italia dovrebbe avere un Ufficio che si occupasse esclusivamente dello studio dei fenomeni idrologici, e che, all'uopo, eseguisse rilievi ed esperienze e preparasse le risposte ai grandi problemi di idraulica pratica che interessano l'economia nazionale, ecc. ».

Ottima proposta, la quale era in questi ultimi anni egregiamente attuata per cura della Divisione dell'Idraulica agraria al Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio, affidata al compianto ingegnere Zoppi. Noi ne abbiamo seguito anno per anno in queste colonne con vivissimo interesse gli splendidi successi. Ma venuto a mancare l'uomo, pare sia sparita con esso la bella istituzione.

G. S.



Torino. Tip-Lit. Camilla e Bertolero di N. Bertolero, editore

□ fino a 100 m. □ 100 - 300 m. ▨ 300 - 500 m. ▩ 500 - 1000 m. ■ sopra 1000 m.

CARTA IDROGRAFICA DELLA GERMANIA SETTENTRIONALE.

Scala da 1 a 5500.000.



- I. Bacino dell'Oder alle sorgenti.
- II. » dell'Alto Oder Superiore.
- III. » » Inferiore.
- IV. » dell'Oder Medio Superiore.
- V. » » Inferiore.
- VI. » dell'Alta Warthe.
- VII. » della Warthe Media.
- VIII. » » Inferiore.
- IX. » dell'Obra.
- X. » dell'Oder Inferiore.

Torino. Tip-Lit. Camilla e Bertolero di N. Bertolero, editore.

CARTA IDROGRAFICA SCHEMATICA DEL BACINO DELL'ODER.

Scala da 1 a 1500 000.