

Cerruti

LIBRERIA
CERRUTI

LIBRERIA CERRUTI

LIBRERIA CERRUTI

LIBRERIA CERRUTI

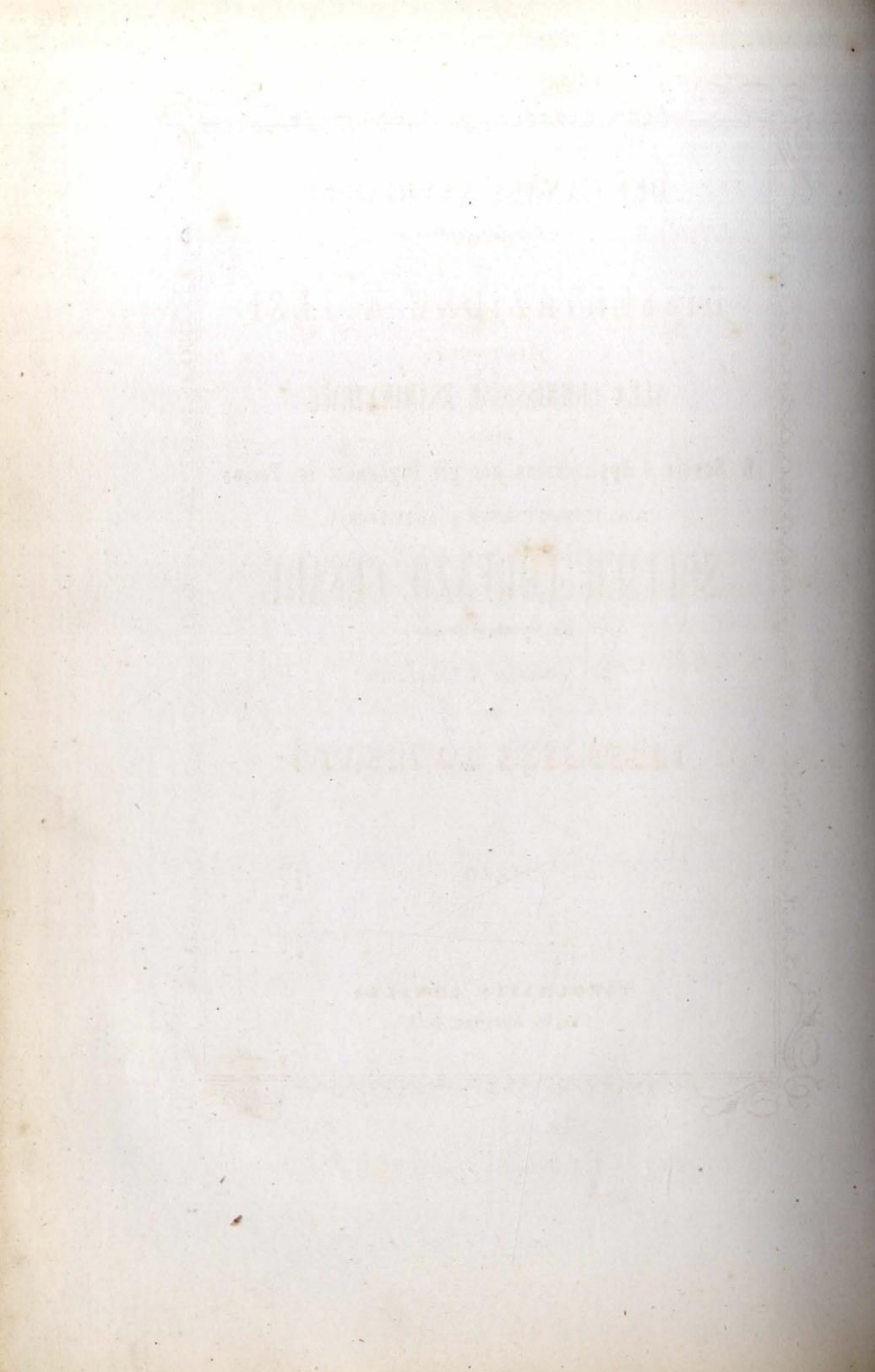
LIBRERIA CERRUTI

LIBRERIA CERRUTI

LIBRERIA CERRUTI

LIBRERIA CERRUTI

LIBRERIA CERRUTI



G 76

DEI CANALI NAVIGABILI

DISSERTAZIONE E TESI

presentate

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

DELLA

R. Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Torino

DAL LUOGOTENENTE D'ARTIGLIERIA

SOLLIER LORENZO CESARE

DA VINADIO (Cuneo)

Per ottenere il Diploma

DI

INGEGNERE LAUREATO

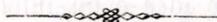
1869

TIPOGRAFIA ARNALDI

Via S. Agostino, N. 6

AI MIEI GENITORI

DEI CANALI NAVIGABILI



I

Prima fra le cause, che in questi ultimi tempi hanno più potentemente contribuito al rapido sviluppo della civiltà, è senza dubbio il grande perfezionamento dato ai mezzi di comunicazione e di trasporto.

Dal giorno che la macchina di Giorgio Stephenson venne applicata alla locomozione, il genio delle arti e delle scienze accentratosi in Europa, sparse più vividi e fecondi i suoi raggi di libertà e di progresso, ed un'era novella si schiuse all'avvenire dei popoli. Coll'adozione delle ferrovie infatti, non solo le grandi distanze vennero abbreviate o piuttosto distrutte, e così moltiplicato il valore del tempo, l'agevolezza degli scambi e dei sociali rapporti, ma ancora, mediante le combinazioni che ad esse servono di base, un potente impulso venne comunicato a tutti i diversi rami dell'attività intellettuale e del materiale lavoro dell'uomo, non che ai più alti interessi della società. Mercè le numerose questioni presentatesi nel tracciamento, nell'esecuzione delle opere d'arte, nella costruzione e direzione

delle macchine e dei veicoli, nella ricerca del miglior impiego del vapore come forza motrice, la maggior parte dei più astrusi problemi fisici, matematici e meccanici trovò una completa soluzione. Nell'ordine morale e politico gli effetti delle ferrovie poi furono incommensurabili; accomunando le idee e gli interessi, esse furono il complemento dell'invenzione della stampa, diffusero il sentimento ed il bisogno della pace, trasformarono in realtà l'utopia di un'associazione generale di popoli, e costituirono il baluardo più sicuro contro le ultime armi del dispotismo. Alla potenza vitale da esse infusa alla moderna società deve il secolo nostro quelle ardite imprese, che ne costituiranno l'impronta caratteristica e gloriosa, il traforo delle Alpi e l'apertura dell'istmo di Suez; per essa nè le arene dei deserti, nè la ferocia di barbare tribù difenderanno a lungo l'Africa dalla invadente civiltà; l'Oceania già invoca le nostre arti e le nostre leggi, e ben presto la China stessa abatterà le sue tradizionali barriere innanzi al nostro commercio.

Se noi tuttavia ci facciamo a considerare le ferrovie nell'ordine puramente economico, di leggieri potremo scorgere come l'attributo caratteristico di esse non sia il risparmio, e come quindi tal genere di locomozione sia ancor lungi dal soddisfare ai bisogni ognor crescenti del nostro commercio. L'incomparabile celerità dei tragitti se pur rende le vie ferrate il mezzo più acconcio al trasporto dell'uomo (al quale, come ben disse Franklin, il tempo è la stoffa di cui s'intesse la vita) e di quelle merci, che una sana economia raccomanda di far rapidamente cir-

colare, od anche di quelle derrate soggette a deperimento e richieste istantaneamente dai bisogni del consumo e del traffico, le ingenti spese di lor costruzione, gli enormi dispendi pel loro servizio, e l'altezza quindi delle tariffe di trasporto, non permettono ancora che la più gran parte del commercio, a cui l'economia più che la speditezza è condizione necessaria, possa con interesse trarre profitto della grande invenzione. L'Italia nostra poi in particolare, che manca affatto di quei bacini carboniferi, di cui la natura ha cotanto arricchito il Belgio, l'Inghilterra e la Francia, e che quindi si vede costretta ad importare con grandi spese dall'estero il primo elemento di tal locomozione, è forse il paese che meno d'ogni altro ha sentito gli economici vantaggi delle ferrovie. Se noi infatti esaminiamo le statistiche delle sue linee principali, che pur non mancano di una certa attività, è raro il caso che in esse noi possiamo riscontrarvi un'annua rendita capace solo dell'ammortimento del capitale investito nella costruzione (*).

(*) Non mi è riuscito (a causa della strettezza del tempo) di riunire dati statistici relativi alle strade ferrate italiane per gli anni 1868-69, credo quindi non affatto inutile il qui riportare il quadro del reddito chilometrico delle reti dell'Alta Italia per l'anno 1867.

R E T I	Chilom.	Prodotto in un anno	Prodotto chilometrico
Piemontese	615	49477683	31674
Lombarda	464	9844369	21246
Veneta	433	8910032	20377
Italia-Centrale	293	9094332	31038
TOTALE per l'intera rete dell'Alta Italia	1805	47326448	26220

Le spese di manutenzione e di esercizio sommarono in media per l'intera rete a circa L. 42000 per chilometro.

Onde le ferrovie possano costituire un utile impiego di capitali, ed insieme riunire tutti i vantaggi che da esse l'industria ed il commercio richiedono, non escluso quello dell'economia, è necessario che esse siano in istato di ridurre le quote tangenti al trasporto alle minime proporzioni. La diminuzione delle *tasse*, ci dimostra l'esperienza, lungi dal scemare suole notevolmente accrescere il prodotto totale. Il Belgio fu il primo che abbia riconosciuto quanto giovi la modicità dei prezzi di trasporto sulle strade ferrate. Tal fu il movimento di passeggeri e di merci, da siffatta cagione determinato, sull'intera rete delle ferrovie Belghe, che le entrate delle medesime soverchiarono prontamente le spese; e mentre d'ordinario la creazione d'una via ferrata non aumenta la circolazione locale che nella proporzione di 1 : 4, sopra il maggior numero di dette linee l'incremento fu nel rapporto di 1 : 15.

Ma affinchè questa riduzione di tariffe possa venire utilmente effettuata, egli è necessario che il paese già possenga un commercio suo proprio ed attivo, e non si veda costretto di importare dall'estero la più gran parte delle sue sussistenze, come pur troppo accade da noi. Uscite appena dalla disastrosa lotta che le dovea costituire in nazione, le provincie tutte dell'Italia nostra si diedero pure con lodevole slancio a compier l'opera della loro rigenerazione ed indipendenza coll'operosità e col lavoro, ma le forze vive del paese ebbero per avventura un falso indirizzo. Vaneggiando di continuo dietro ad una industria i cui prodotti pure non poterono mai, a causa del passaggio dal sistema protettivo a quello del libero scambio, sostenere l'estera

concorrenza, gli Italiani trascurarono di troppo il più poderoso, il più complesso capitale di cui la natura li avea dotati, e sul quale era fondato il loro avvenire di prosperità e di grandezza, la terra.

Lo stato attuale dell'agricoltura in Italia non corrisponde ai suoi bisogni. Da alcuni anni i prodotti agricoli non raggiungono la media corrispondente al numero degli abitanti; ma quando pure la superassero, le contribuzioni cresciute ed il basso prezzo delle derrate (a causa delle importazioni) fanno sì che i proprietari di fondi o si trascinano stentatamente fino alla fine d'ogni anno, o sono ridotti alla misera condizione dei piccoli agricoltori Irlandesi, i quali, obbligati coi nove decimi dei proventi a soddisfare gli inevitabili pesi annuali, vivono miseramente coll'altro decimo, se pur il raccolto non falla; altrimenti trovansi di fronte la fame. Eppure il suolo del nostro paese può produrre il triplo ed anche il quadruplo di quello che produce attualmente; in virtù del clima privilegiato e dei potenti vantaggi che si possono ritrarre dall'irrigazione non riuscirebbe difficil cosa, nè opera di gran tempo, lo stabilire sui mercati delle materie prime e dell'industria agricola una proficua concorrenza colle merci straniere, il procurare alla patria nostra i mezzi di mantenere un aumento di popolazione, e di inaugurare un commercio nazionale.

I voti unanimi e reiterati che d'ogni dove s'innalzano, la misera sorte degli abitanti della campagna, che pur son quelli su cui grava più dura l'imposizione della patria difesa, i consigli infine dei più autorevoli fra i nostri

concittadini, ci dovrebbero far persuasi come fra gli interessi che pei primi debbono attirare la nostra attenzione sia mestieri di porre il miglioramento della nostra agricoltura, miglioramento a cui, oltre il credito e l'associazione, una protezione efficace per parte del governo è condizione indispensabile. Nè per questo le nostre nascenti manifatture ne verrebbero a ricever danno; nel tempo stesso che l'agricoltura fornisce alle popolazioni le masse enormi delle sussistenze produce e perfeziona ogni giorno le materie prime con cui si alimentano le altre industrie; e queste a lor volta, col successivo sviluppo della loro attività, vengono a procurare alla prima quel consumo e quello stimolo che è per essa il più reale degli incoraggiamenti.

Questo legame, questa specie di solidarietà che si riscontra fra le diverse arti di una stessa nazione, e le fa concorrere unite all'incremento continuo della pubblica ricchezza, esiste pure esattamente tra le diverse scienze che si attaccano al progresso d'una medesima industria, nella stessa guisa quindi, se la principale di esse viene con speciale attività coltivata, le altre direttamente od indirettamente ne verranno a risentire vantaggio.

Fra le scienze che hanno maggior influenza sui progressi dell'arte agricola in Italia, stante le numerose e feconde masse d'acqua di cui la natura ci fu larga, certamente va prima d'ogni altra annoverata l'idraulica pratica. Migliorare quindi il regime delle acque in modo da farle concorrere il più completamente possibile all'utilità generale, ottenere un sicuro riparo contro i danni a cui vanno age-

volmente soggetti i terreni prossimi ai fiumi e torrenti per le ormai troppo frequenti inondazioni prodotteci dalla funesta smania del diboscamento, risanare i terreni umidi e paludosi, estendere le numerose applicazioni agricole, industriali e commerciali, che possono ricevere le acque correnti convenientemente dirette, egli è un aprire sorgenti di prosperità sì numerose e sì grandi, che oggigiorno l'opera dell'ingegnere non potrebbe essere diretta verso uno scopo più utile e vantaggioso. Le operazioni di questa natura sono ovunque ritenute come quanto havvi di più desiderabile per l'avvenire agricolo ed insieme industriale d'un paese, poichè esse offrono il mezzo di conquistare coll'impiego di un agente naturale, di un capitale già esistente, nuovi elementi di fertilità, esca economica all'industria; aumentando poi intrinsecamente la forza produttiva del suolo, esse danno a parità di lavoro dei prodotti migliori e più considerevoli, a parità di prodotti esse rendono disponibili per colture industriali una parte dei terreni precedentemente consacrati alla sola produzione delle sussistenze.

Un'utilissima applicazione dell'idraulica nello stato attuale della nostra agricoltura, della nostra industria e del nostro commercio costituiscono senza dubbio, per il triplice scopo a cui possono soddisfare, i canali navigabili. Considerati come mezzi di trasporto delle derrate campestri, delle materie prime, dei prodotti minerali, delle merci insomma che sotto un grosso volume hanno un lieve valore, i canali navigabili soddisfano certo più delle strade ferrate all'essenziale condizione del risparmio. Di ciò ne è prova l'attivo esercizio che ancora è in vigore sulle vie

navigabili, non ostante il considerevole sviluppo preso delle strade ferrate in questi ultimi tempi; fatto che d'altronde non può recar meraviglia quando si paragonino le spese d'impianto dei due mezzi di locomozione, e quelle del loro esercizio. In Francia la costruzione dei canali costò in media L. 125000 per chilometro, mentre il chilometro di ferrovia vi è calcolato a L. 400000; una strada di ferro quindi costa colà tre volte circa più d'un canale delle stesse proporzioni, sicchè la parte di *pedaggio* che è motivata dall'ammortimento del capitale investito nella costruzione è tripla sul primo di quel che sia sul secondo mezzo di trasporto. Negli Stati Uniti il chilometro delle vie navigabili costò solo in media 101000 franchi, e 110000 quello delle ferrovie; questa poca differenza però può venir spiegata dal poco costo che hanno in America il terreno ed i materiali da costruzione. Prendendo in media, come suolsi generalmente, per prezzo di un chilometro di canale L. 130000 si può ritenere che il prezzo medio d'una strada ferrata a doppio binario sia di L. 400000 per chilometro; ora se questa cifra può discendere alcune volte fino a 60000 franchi, come in America, e salire ad 800000 come in Inghilterra, da noi può superare anche il milione. Le spese di manutenzione di un canale sono pure di gran lunga minori di quelle che occorrono per una strada ferrata; in Francia, per esempio, si calcola la spesa di 1500 franchi all'anno per ogni chilometro di canale; in America essa varia fra 2000 e 3000 franchi; quella per la manutenzione delle ferrovie invece negli Stati Uniti e nel Belgio si stima da 3 a 4000 franchi per ogni chilometro

all'anno, in Inghilterra giunge a 5 e talora anche ad 8000 franchi, in Italia poi essa prende tali proporzioni da rendere quasi sempre necessari i sussidii governativi.

Ma la economia di trasporto sola non va considerata fra gli innumerevoli vantaggi che sogliono i canali navigabili presentare: soventi volte una buona parte delle spese della loro costruzione è largamente compensata dal valore che acquistano i terreni pantanosi ed umidi da essi risanati, e su cui d'altronde non si potrebbero stabilire delle vie ferrate che con ingenti capitali. L'Olanda, senza le numerose reti di canali da cui è solcata, non sarebbe che una insalubre e sterile palude.

Il problema di una feconda ed appropriata irrigazione viene dai canali navigabili risolto nel modo più completo; la forza motrice necessaria agli opifizii può venir da essi in larga copia somministrata.

Mediante canali a pendenza si possono condurre le acque potabili necessarie ai grandi centri di popolazione, e basti l'esempio del canale di Ourcq il quale fornisce d'acqua la città di Parigi, acqua che viene pagata in ragione di L. 5 al metro cubo per ogni anno.

Oltre la benefica influenza che i canali navigabili hanno comune coi corsi d'acqua naturali e le condotte per irrigazione sul clima d'un paese e sulla salubrità dell'aria, essi possono ancora, a causa della loro capacità, scemare le piene dei fiumi e dei torrenti, impedendone così lo straripare ed ovviando ai danni di funeste inondazioni. Da ultimo non affatto trascurabile è il servizio reso dai canali navigabili quali comode e sicure linee di difesa nelle militari

operazioni. Il loro cavo offre un ampio terrapieno su cui possono essere costrutte le batterie. Il maresciallo Soult alla testa di 30,000 uomini, protetto dal canale di Linguadoca, fece fronte ad un corpo d'esercito di 60,000. Il canale da Saint-Denis fu preso per linea di difesa nella battaglia di Parigi. In Fiandra quei medesimi canali che fertilizzano e risanano il paese, nel tempo stesso che facilitano l'approvvigionamento delle piazze forti, servono ad inondare i terreni loro circostanti.

Non si possono negare, a dire il vero, alcuni inconvenienti ai canali navigabili, tra cui l'interruzione di servizio a causa del gelo e degli spurghi; alcuni tra i mentovati vantaggi possono coll'andar del tempo venire eliminati, sia dal prepotente bisogno d'un commercio attivo e fiorente, che da quello di pace e di unione che ogni giorno più va stringendo i popoli delle diverse nazioni; resterà pur sempre in Italia il principale, quello di migliorare le condizioni agricole ed economiche del paese, e procurargli i mezzi onde costituirsi indipendente dal pane straniero.

II

L'uso dei canali navigabili rimonta ai tempi più remoti della civiltà.

L'India, che nei suoi annali vanta i primi germi della civilizzazione che abbiano dirozzata l'umana famiglia, fu da tempi immemorabili solcata da numerosi canali, i quali ali-

mentati per buona parte dall'Indo e dal Gange, portavano la fecondità nelle regioni sue più remote, e servivano alle comunicazioni ed al commercio.

Babilonia, emporio di tutta l'Asia occidentale, sino al giorno in cui i Fenici divennero gli intermediari universali del traffico asiatico, servivasi pel commercio interno di canali navigabili alimentati dalle acque del Tigri e dell'Eufrate. Il territorio di Babilonia, oggidi così desolato e povero, era nei tempi di Erodato fertilissimo; la ricca vegetazione è scomparsa, dacchè cessarono i lavori dell'uomo dal fecondarne il terreno, e l'Eufrate ripresi i suoi domini, rotti gli argini, colmati i canali, ne ha insabbiata la pianura.

L'Egitto per la speciale sua fisica costituzione fu fin dai primordi della sua civiltà, obbligato a costruire ottime strade terrestri ed idrauliche per assicurare le comunicazioni. Un gran canale, le cui rovine destano oggi ancora l'ammirazione degl'ingegneri, riuniva il lago di Meride al Nilo, presso alle cui rive svolgevasi un'immensa rete di altri canali minori. Che la navigazione interna d'altronde fosse dagli Egizi specialmente coltivata basta a provarlo il fatto che fra le sei caste, nelle quali ripartivasi la popolazione, viene dagli antichi monumenti espressamente indicata quella dei nocchieri. Questi nocchieri poi dovevano esclusivamente esser destinati ai laghi, ai fiumi ed ai canali, poichè è noto come fino ai tempi di Psammetico e di Neco, una strana superstizione facesse riguardare con orrore e disprezzo il mare, che veniva considerato come elemento impuro, e del quale non era tampoco permesso di consumare la pescagione.

La China che per antica coltura e civiltà gareggia col-

l'Egitto e coll'India, fu forse il paese in cui l'idraulica pratica abbia avuto le più numerose applicazioni; in essa immenso e sapiente fu in ogni tempo il sistema di canalizzazione destinato sia all'agricoltura che al traffico interno.

Per quanto antico però possa esser l'uso dei canali navigabili, non pare tuttavia che prima del XII secolo dell'era cristiana, fosse conosciuto l'ingegnoso sistema dei sostegni amovibili regolati con doppio ordine di porte per sostenere le cadute dell'acqua e dar passaggio alle barche sia nel salire a livello più alto che nel discendere per continuare la navigazione. Molto si è disputato intorno al nome dell'ingegnere a cui dovevasi attribuire l'onore di tale invenzione; alcuni vollero ch'ei fosse Leonardo da Vinci, altri Napo della Torre, altri finalmente hanno creduto di provare come sin dal 1188 l'architetto Pitentino da Mantova già avesse adoperato un congegno del tutto simile alle conche per l'eseguimento del sostegno di Governolo sul Mincio. Comunque sia la cosa egli è certo che ad ingegno italiano devesi attribuire la gloria dell'invenzione delle conche, e come in Italia per la prima volta queste fossero applicate ed abbiano servito di modello alle opere idrauliche delle altre nazioni.

Ed infatti il Gioia ci afferma, come solo nel XIII secolo queste opere fossero costrutte nei Paesi Bassi, dove fecero nascere strette relazioni tra le città di Bruges, Gand, Anversa ed Amsterdam.

Nel XVI secolo la Francia intraprese l'unione della Senna alla Loira, e nel secolo seguente l'Oceano al Mediterraneo col canale di Linguadoca. L'Inghilterra che attualmente

primeggia sulle altre nazioni per quantità di canali fu l'ultima ad adottarli. Nel 1756 essa non possedeva che una sola linea di navigazione artificiale, ma nel breve volgere di mezzo secolo l'Inghilterra è giunta a possederne (tra la grande e la piccola navigazione) mille leghe di lunghezza sopra un'estensione di territorio che non è uguale ad $\frac{1}{4}$ di quella della Francia.

Un canale navigabile consiste essenzialmente in un largo fosso, per quanto si può impermeabile, ottenuto mediante gli opportuni sterri, riporti, ed opere d'arte, nel quale viene introdotta e conservata indefinitamente una quantità d'acqua sufficiente, per permettere una determinata immersione alle barche ed ai battelli che lo debbono percorrere. Il rimorchio di queste barche e di questi battelli è generalmente fatto da uomini o da cavalli, i quali camminano lungo le sponde; sarà quindi necessario che il canale sia per l'intero suo corso fiancheggiato da una strada soda e comodamente praticabile; questa strada viene comunemente detta *strada alzaia*.

La sezione trasversale del fosso, o del canale propriamente detto, presenta nel maggior numero dei casi la forma trapezia: una retta orizzontale ne costituisce il fondo, due rette laterali ugualmente inclinate ne formano le sponde.

La larghezza del fondo si fa generalmente eguale a due volte quella delle più grosse barche che dovranno percorrere il corso d'acqua, più un gioco di metri 0,15 a metri 0,20 se le sponde sono assai ripide o verticali; se queste sponde

invece sono molto inclinate come succede quando esse sono in terra e non rivestite, la larghezza del fondo può anche ritenersi d'alquanto inferiore a quella del doppio di quella delle barche.

Nei tronchi inferiori, ove il transito è sovente molto attivo, nei punti ove le barche devono far stazione per caricare o scaricare le merci, si può esser costretti d'aumentare questa larghezza onde non arrecare soverchia lentezza nel servizio; non è tuttavia conveniente d'accrescere questa dimensione di più di $\frac{1}{3}$ del suo valore normale.

Nei tratti in cui lo stabilimento del canale presenta gravi difficoltà, in quelli che esigono vistosi rialzi o profonde trincee, e finalmente in quei tronchi che debbono attraversare luoghi abitati, si può per economia ridurre la larghezza del fondo al semplice passaggio di una barca. Adottando però questo partito per lunghezze considerevoli, e soprattutto se le barche non possono scorgersi dall'una all'altra estremità del tratto ridotto, sarà necessario praticare lungo il medesimo delle stazioni di scambio, in cui possa comodamente aver luogo l'incrocicchio dei battelli. Queste stazioni saranno collocate sul lato opposto alla strada alzaia e completamente all'infuori della *via d'acqua*.

L'altezza dell'acqua in un canale navigabile deve eccedere almeno di metri 0,30 a metri 0,50 la massima immersione delle barche, sia a causa degl'interrimenti a cui il canale può andare soggetto e delle torbide che si avessero a far depositare sul fondo per stagnare le filtrazioni, sia per l'ingombro che opporrebbero le alghe ed altre piante acquatiche da cui tosto il canale viene popolato. Nella

maggior parte dei canali navigabili italiani e francesi l'altezza d'acqua varia generalmente fra metri 1,60 e metri 2, per canali d'importanza secondaria discende fino a metri 1,20 mentre giunge ed anche oltrepassa i metri 3 in quelli di grande importanza. Il pelo d'acqua si dovrà trovare poi di pochi centimetri inferiore al ciglio delle sponde.

Le sponde sono quasi sempre inclinate; la loro inclinazione dipende dalla natura delle terre in cui sono scavate se non rivestite, dalla natura dei materiali impiegati se rivestite. Le sponde verticali richieggono robustissimi rivestimenti, stante la forma delle barche obbligano a tenere il fondo del canale soverchiamente largo, e quindi non sono convenienti dal lato dell'economia.

Due *banchine* laterali sogliono fiancheggiare l'intero corso del canale. Scopo di queste banchine si è di opporsi sia alla pronta deteriorazione delle sponde in vicinanza del pelo d'acqua, che allo scoscendimento della scarpa interna della strada alzaia. Esse vengono spesso seminate di piante erbacee di facile presa, di vimini o di giunchi, i quali rompono l'azione dell'acqua e tengono in sesto le terre. In molti canali queste banchine vennero ommesse.

La strada alzaia dev'essere stabilita il più vicino possibile alla sponda del canale ed a tal altezza che la fune di rimorchio risulti prossimamente orizzontale onde evitare lo spreco di forza che ne nascerebbe per l'obblività nei due sensi; d'altra parte però dovrassi procurare che essa si trovi sempre al riparo delle onde, le quali sogliono essere tanto più forti quanto più il canale è largo ed esposto all'azione dei venti. In generale essa si suol porre ad una

distanza dal ciglio delle sponde variabile tra m. 0,20 a m. 0,60, e ad un'altezza compresa tra m. 0,50 e m. 1,60. La larghezza della strada alzaia, quando il rimorchio è fatto a braccia d'uomini è generalmente compresa tra m. 1,50 e m. 2,00; se invece il rimorchio è fatto da cavalli, essa non dovrà essere minore di m. 4,00, nè maggiore di m. 5,00.

Riesce comodo assai il più delle volte di avere una strada alzaia su ciascun lato della via d'acqua, sempre poi ciò è necessario allorchè il canale è molto largo e venti dominanti si uniscono all'azione del rimorchio per spingere la barca contro una delle rive. Quando la strada alzaia non esiste che su di una sponda si suol praticare nell'altra un marciapiede largo da m. 1,50, a m. 2,00.

L'inclinazione delle scarpe della strada alzaia dipende dalla natura delle terre con cui essa è costrutta; se però mancano le banchine essa dovrà essere uguale a quelle delle sponde del canale.

Parallelamente ed all'infuori della strada alzaia e del marciapiede si fanno correre i *controfossi*. Questi controfossi nei tratti in isterro hanno per iscopo: 1° Di consolidare le scarpe della trincea sgravandole della spinta che contro esse produrrebbero le terre adiacenti; 2° Di ricevere le acque pluviali e di scolo, procurando loro uno sfogo fuori del canale, dove trascinerrebbero della sabbia e della terra. Nei tratti in rialzo essi non servono che a raccogliere le acque di filtrazione che sfuggono dal canale, sia per condurle nel tronco a valle, che per impedirne l'espansione nelle proprietà limitrofe, e dirigerle verso i punti di scolo naturale. Le dimensioni dei

controfossi variano a seconda delle circostanze in cui il canale viene costruito; non si potrebbe quindi fissare dati precisi ed assoluti; il senso pratico solo può essere di guida al costruttore in ogni caso particolare.

La navigazione su di un canale deve potersi attivare nei due sensi senza esigere un eccesso di forza motrice per far rimontare alle barche la corrente; la pendenza quindi di un canale navigabile oltre all'essere intimamente connessa colla spesa di prima costruzione, dovrà prima d'ogni altra cosa essere coordinata con quei limiti di velocità che solo sono compatibili col genere di motore impiegato.

Supponiamo, per far il caso che più generalmente suolsi presentare nella pratica, che il rimorchio delle barche debba eseguirsi con cavalli. Secondo lo Sganzin un cavallo che cammina di buon passo ossia colla velocità di un metro circa per secondo, è capace di trascinare su di un'acqua stagnante il peso medio di 60 tonnellate; su di una corrente quindi che avesse, per esempio, la velocità di un metro per secondo, ammettendo che la resistenza dell'acqua cresca col quadrato della velocità, esso non sarebbe più capace che di trascinare 15 tonnellate; se la velocità della corrente fosse di due metri il carico rimorchiato si ridurrebbe a 6 tonnellate e $\frac{1}{2}$ circa, se di met. 8 esso non arriverebbe più che a tonn. 3,80. Aumentando la velocità, come si vede, diminuisce l'effetto utile. È vero bensì, come scorgesi dai risultati delle esperienze eseguite in Inghilterra e riportateci dal Minard, che l'aumento della resistenza segue una legge meno rapida di quella dei quadrati della velocità quando questa oltrepassa un certo limite, ma d'altra

parte si comprende come prima ancora che questo limite siasi raggiunto, il rimorchio ascendente già riesce impossibile, e che quindi assai dolce debba essere la pendenza del fondo, onde sotto il punto di vista dell'economia della forza motrice non spariscono i vantaggi che i canali navigabili sogliono presentare sulle strade ordinarie.

Il Cavaliere assegna la pendenza di metri 0,50 per chilometro. Lo Sganzin suggerisce come limite superiore della velocità per l'ascesa delle barche mediante il rimorchio quello che corrisponde alla pendenza di metri 0,45 a metri 0,60 per 1000 metri. Questo limite di pendenza si riferisce solo ai canali artificiali giacchè lo stesso autore informa che si naviga sul Rodano con una pendenza di metri 0,70 a 0,80 per chilometro, e con una velocità che giunge talvolta a 4000 metri, e che abitualmente è di metri 2,00. Lo stesso avviene sul Reno che si rimonta d'altronde alla guisa stessa del Rodano, col sussidio della vela o del vapore.

Fissato il limite della pendenza del fondo di un canale, non si presenterà presso che mai il caso di potere questo limite adottare lungo l'intero corso di esso; accadrà quasi sempre che o complessivamente o che in qualche tratto parziale, debba il corso d'acqua superare una differenza di livello tale che per un determinato tracciato ne risulti una pendenza longitudinale superiore a quella adottata; così pure può succedere che considerazioni relative alla portata minima della sorgente alimentare, alla frequenza dei trasporti, ecc., impongano la condizione che le acque nell'intero corso del canale si mantengano stagnanti; bisognerà allora che la residua o totale differenza d'altezza

tra i punti estremi sia superata mediante repentini cambiamenti di livello o *salti*, i quali sieno distribuiti lungo l'intero corso nel numero e nei punti convenienti. Il profilo longitudinale presenterà per tal modo diversi tratti orizzontali o leggermente inclinati riuniti da tanti tratti verticali quanti saranno i salti che si credette utile, o fu necessario, di praticare.

Ogni tratto parziale di canale racchiuso fra due salti consecutivi dicesi *tronco* o *gora*. Ciascuno di tali salti implica necessariamente la costruzione di un'opera d'arte speciale detta *sostegno*, il cui ufficio è quello di permettere ad una barca il passaggio in doppio senso dall'uno all'altro dei tronchi attigui senza alterare la differenza di livello delle acque nei tronchi stessi.

Dal finqui esposto risulta che i canali di navigazione con sostegni possono avere una corrente d'acqua od essere stagnanti, secondochè i diversi tronchi nei quali sono suddivisi presentano una certa pendenza o sono orizzontali. La prima categoria comprende tutte le derivazioni che hanno per oggetto di servire alla navigazione ed insieme alle condotte d'acqua d'irrigazione, pel movimento d'opifici, ecc. Sono questi veri fiumi artificiali. Nella stessa categoria si possono collocare alcuni canali in cui la navigazione discendente ha un'importanza del tutto predominante relativamente alla navigazione ascendente. In tal caso vi sarà manifesto vantaggio sotto il punto di vista delle spese di prima costruzione, nell'adottare i canali a pendenza poichè si diminuirà così in proporzione il numero dei sostegni manufatti sempre assai costosi, e d'altronde

la poca attività del trasporto ascendente non merita che si sacrificino ingenti capitali per migliorare le condizioni di esercizio del canale in questo senso. Al contrario se la navigazione è presso a poco ugualmente attiva nei due sensi, converrà dare la preferenza ai canali ad acqua stagnante, quand'anche l'adempimento di tale condizione implichi riguardevoli spese di prima costruzione. Indipendentemente dalle considerazioni che si riferiscono all'esercizio, questa disposizione è talvolta imposta dal minimo prodotto della sorgente elementare, il quale può discendere così basso da esigere la più grande economia d'acqua nel canale, riducendone il consumo al puro necessario per il giuoco dei sostegni, le infiltrazioni e la evaporazione.

I principali canali navigabili dell'Italia settentrionale, siccome quelli che generalmente uniscono i tre scopi, navigazione, irrigazione, movimento d'opifici, sono ad acqua corrente; quelli invece della Francia, dell'Inghilterra e degli Stati Uniti sono ad acqua stagnante. Vi si ammette al più una pendenza insensibile (circa metri 0,05 per chilometro) onde facilitare la messa in secco dei diversi tronchi, quando occorra farvi delle riparazioni o degli spurghi.

Sotto l'aspetto della loro giacitura relativamente alla conformazione idrografica della regione da essi percorsa, i canali navigabili vanno distinti in due categorie:

1° Canali ad un *sol versante* compresi nello stesso bacino principale come sono esclusivamente tutti i canali d'Italia. Questi canali presentano una sola pendenza ascendente o discendente secondochè se ne rimonta o se ne seconda il corso;

2° Canali a *punti culminanti* (points de partage) od *a due versanti*, i quali riuniscono due bacini valicando la catena dei rilievi che li separano. In Italia non abbiamo esempi di siffatti canali che sono invece numerosi nel Belgio, in Francia e negli Stati Uniti.

Un canale della prima classe può essere considerato come uno dei due rami di un canale a punti culminanti, e reciprocamente quest'ultimo si compone di detti due rami e di una *gora culminante* o *di partizione* che deve fornir l'acqua a due versanti.

III

I sostegni, conosciuti anche sotto il nome di *conche*, funzionano quali veri apparati meccanici per far superare alle barche tanto nel senso ascendente che in quello discendente la differenza di livello che presentano le acque di due tronchi attigui di canale. Questi sostegni sono costituiti da due chiuse o porte, le quali sbarrano il canale e ne rinserrano un breve tratto capace di contenere una o più barche. Le porte di ciascuna delle due chiuse sono disposte in modo da potersi aprire contro la direzione della corrente; quelle della chiusa superiore hanno il nome di *portine* per distinguerle da quelle della chiusa inferiore che chiamansi *portoni*. Le porte di due chiuse successive hanno necessariamente diverse altezze, ma terminano superiormente ad uno stesso piano orizzontale elevate da m. 0,30 a m. 0,40 sul pelo d'acqua nel tronco a monte.

Il breve tratto di canale intercluso fra la chiusa superiore ed inferiore dicesi *vasca*, *cratere*, oppure *bacino* del sostegno.

Affinchè la pressione dell'acqua non sia di ostacolo all'aprimiento delle porte dell'una o dell'altra chiusa, come è richiesto pel passaggio delle barche, è necessario che il liquido si disponga preventivamente allo stesso livello a monte ed a valle della chiusa che si considera, vale a dire nel bacino o nel tronco di canale adiacente alla porta che vuolsi dischiudere. Supponiamo infatti, per fissare le idee, che una delle due chiuse abbia metri 2 di altezza ed altrettanto di larghezza, se essa è premuta su tutta la sua altezza dall'acqua del tronco superiore ed il livello dell'acqua nel bacino non arriva al ciglio della soglia, supporterà per parte del liquido una pressione eguale al peso d'un cilindro d'acqua di cui la base sarebbe 4 metri quadrati (superficie della chiusa), e di cui l'altezza sarebbe 1 metro (altezza del livello dell'acqua sopra il centro di gravità della superficie premuta). Questa pressione che è di chilogrammi 4000 produce lo stesso effetto che una forza d'uguale intensità applicata ad $\frac{1}{3}$ della verticale che passa pel mezzo della porta a partire dal suo punto inferiore; di qui risulta quanto difficile riescirebbe la manovra del sostegno.

Affinchè adunque possa l'acqua, giusta il bisogno, innalzarsi ed abbassarsi dentro il bacino, quanto importa per mettersi a livello con quella del tronco superiore, ovvero con quella del tronco inferiore, si dovranno praticare in ciascuna delle chiuse degli sfoghi oppure dei

condotti laterali di comunicazione che a piacimento possano essere aperti od otturati, e pei quali l'acqua possa passare nel tronco superiore del bacino e da questo nel tronco inferiore quantunque si tengano serrate le porte dell'una o dell'altra chiusa. Allorchè poi si è ridotta l'acqua nel bacino ad uno stesso livello con quella dell'uno dei vicini tronchi del canale, diviene facile di aprire le porte dell'interposta chiusa, non avendosi più a superare che la resistenza del fluido ambiente e dell'attrito dei cardini.

Per aprire le porte di una chiusa diversi espedienti possono venire a proposito. Il più semplice di tutti consiste in una trave orizzontale sostenuta a giusta altezza dai ritti di ciascuna porta prolungati superiormente di metri 1 od 1,20, la quale sporga con un braccio d'opportuna lunghezza al di là del ritto cardinale. Costituisce evidentemente questa trave una leva di primo genere, mobile intorno ai cardini della porta onde applicando la forza di uno o più uomini a spingere nel senso della corrente il braccio di essa che sporge verso terra, si verrà agevolmente ad aprire la porta. Si ottiene con questo sistema anche un altro vantaggio, ed è che quella parte della trave la quale è destinata a servire di braccio alla potenza, facendo da contrappeso ai battenti, mitiga la pressione laterale che il peso di essi produce contro i cardini, e si oppone al cedimento del ritto battente. Per tal motivo sarà conveniente di sopraccaricare la estremità di detto braccio, sia rinforzandone le dimensioni, sia appendendovi un qualche pesante masso di pietra.

Le piccole porte si aprono comunemente a mano per

mezzo d'aste uncinatè, con le quali si afferrano degli anelli infissi a tale scopo alla sommità del battente.

Per le porte delle grandi chiuse può farsi uso d'argani, di taglie e di simili macchine.

Quando poi si tratta di serrar le porte di una delle due chiuse basterà aprire le comunicazioni inerenti all'altra di esse, perchè l'acqua mettendosi così necessariamente in corso fra le porte della prima, le sospinga a poco a poco da se stessa a chiudersi. Potrebbero per altro le porte venir serrate indipendentemente dall'impulso dell'acqua per mezzo di espedienti simili a quelli che servono pel loro aprimento.

Dopo di ciò riesce facile il comprendere la manovra con cui viene una barca passata dal tronco superiore all'inferiore e viceversa. Per ogni barca che discende dovrassi:

- 1° Pel condotto di comunicazione superiore, stando chiuse tutte le porte, riempire il bacino;
- 2° Aperte le portine, introdurre la barca nella conca;
- 3° Chiuse le portine anzidette, vuotare la conca pel condotto di comunicazione inferiore;
- 4° Aprire i portoni e far passare la barca nel tronco a valle.

Per ogni barca che sale invece si dovrà:

- 1° Aperti i portoni, condurre la barca nella conca;
- 2° Chiusi gli anzidetti portoni, per mezzo del condotto di comunicazione superiore, empire la conca;
- 3° Aperte le portine, far passare la barca nel tronco a monte.

Le dimensioni e la forma delle conche vogliono essere determinate dipendentemente da tre condizioni essenziali che sono :

- 1° Il minimo consumo d'acqua pel passaggio delle barche;
- 2° La sollecitudine del tragitto;
- 3° Finalmente la facilità e l'economia della costruzione.

La seconda e la terza condizione sono le più importanti; la prima si rende interessante nel solo caso che il canale abbia un limitato alimento d'acqua, e viene generalmente trascurata in tutti quei canali che sono alimentati da fiumi o da laghi, quali sono presso che tutti i canali navigabili italiani.

L'esperienza ha dimostrato, dice il Cavalieri, che quando la larghezza delle chiuse è maggiore di metri 5,85 si rende malagevole e pigro il gioco delle porte, e quindi si ritarda eccedentemente il tragitto delle barche. Si fissa adunque per massima che le chiuse dei sostegni non abbiano generalmente ad essere larghe più di metri 5,85, per quanto maggiore possa essere la grandezza del canale. Di qui ne segue che le più grosse barche da cui potrà essere praticato il canale saranno al più dell'indicata larghezza, e siccome in quella specie di barche che sono destinate alla navigazione dei canali, ha pur dimostrato l'esperienza che onde siano agili al moto la lunghezza deve essere quintupla della larghezza, così le maggiori barche da cui si può supporre percorso il canale, saranno lunghe non più di metri 29,25.

Affinchè poi il bacino sia capace di contenere barche di tali dimensioni, egli è d'uopo che la sua estensione longitudinale fra le due chiuse, sia tanto maggiore della lunghezza stessa delle barche, di quanto si estende il tratto che vien occupato dalle porte della chiusa inferiore allorchè vengono aperte, la metà prossimamente cioè della larghezza della chiusa, vale a dire metri 3 circa. Si conchiude che la massima lunghezza che potrà convenientemente assegnarsi al bacino di un sostegno non sarà maggiore di metri 32.

La lunghezza interna delle conche, indipendentemente dalle considerazioni suaccennate vuol essere proporzionata al numero delle barche, cui si intende che il sostegno sia capace di contenere tutte in un tempo.

Vuolsi per altro osservare che quando il sostegno è di capacità sufficiente per una sola barca, per ciascun battello che passa, si consuma la stessa quantità d'acqua e si impiega lo stesso tempo nel tragitto, e questo tempo è evidentemente ridotto al minimo; ma se la conca è ampia per modo da poter contenere due o tre barche ad un tempo la cosa andrà ben diversamente. Poichè, o si acconsentirà di aprire senza indugio il sostegno indistintamente, sia che vi giunga un sol battello, sia che ve ne arrivino due o tre assieme, ed in tal caso quello che passa solo consuma il doppio od il triplo d'acqua di ciascuno di quelli che passano a due a due ovvero a tre a tre, come pure il doppio od il triplo di quella che andrebbe consumata in un sostegno capace di un solo battello, ed il tempo necessario al tragitto di una barca, sia che sola entri nel

sostegno, sia che vi entri accompagnata, sarà doppio o triplo e non mai minore di quello che avrebbe importato il passaggio per un sostegno semplicemente grande abbastanza per contenere un solo battello, ovvero che non sarà permesso di aprire il sostegno se non quando si saranno ad esso adunate tante barche quante è capace di contenere, ed allora avverrà bensì che la perdita dell'acqua pel passaggio delle medesime non sarà nè più nè meno di quello che si avrebbe in un sostegno adattato per un solo battello, ma non per questo si eviterà il soverchio perditempo del tragitto, al quale riuscirà anche maggiore che nel caso precedentemente considerato, pel ritardo che nascerà dal doversi arrestare le barche al sostegno, finchè se ne sia raccolto un numero corrispondente alla capacità del bacino. Si vede adunque che in ogni modo i grandi sostegni atti a contenere più barche sono contrari ed alla economia dell'acqua ed alla speditezza della navigazione, e che quindi il buon sistema di un canale navigabile richiede che i suoi sostegni siano di grandezza non maggiore di quella che abbisogna affinchè in ciascuno di essi possa capire una barca sola.

La forma più conveniente da darsi ad un sostegno, avuto riguardo all'economia dell'acqua, sarebbe evidentemente quella che più si approssima al volume generato da una barca nel suo movimento verticale; ma questa forma, oltre all'essere di complicata costruzione, renderebbe troppo difficile la manovra delle porte, i sostegni quindi si fanno sempre rettangolari assegnando al bacino una larghezza costante fra l'una e l'altra chiusa. Qualunque altra forma

è manifestamente contraria all'economia dell'acqua, alla speditezza della navigazione, alla facilità ed economia della costruzione. In alcuni sostegni tuttavia si vedono disposte le sponde con una leggera curvatura all'intorno; questa disposizione non può avere altro scopo che quello di opporsi con maggiore efficacia alla spinta delle terre in cattivi terreni; il Minard però osserva come in realtà questo spediente sia di ben poco vantaggio quando la curvatura non è molto pronunciata, e quindi consiglia non volerlo mai adottare.

Ciò posto ogni sostegno si comporrà: 1° di una platea; 2° di due muri di sponda; 3° della soglia della chiusa a monte; 4° della soglia della chiusa a valle; 5° degli stipiti delle porte; 6° di un muro di caduta; 7° delle camere delle porte; 8° delle due capriate; 9° finalmente dei muri di fuga.

Dicesi platea di un sostegno quello strato di materiale che ne costituisce il pavimento. Scopo della platea, qualunque sia l'indole del suolo sottoposto, si è di rendere impermeabile il fondo del bacino, di ottenere la perfetta unione di tutti i muri alla base comune, e di stabilire lo scambievolmente concatenamento di tutte le parti, onde il sistema acquisti la più sicura stabilità. Lo spessore da assegnarsi alla platea di un sostegno, dipende dalla natura del terreno sul quale si deve costruire, epperò di essa si terrà parola allorquando occorrerà di parlare dei varii generi di fondazione. La sua figura poi e le dimensioni orizzontali dipendono dalla forma del bacino, di cui la platea deve costituire il fondo artificiale. Qualunque però

sia questa forma, essa dovrà sempre sporgere di metri 0,60 almeno tutto all'intorno del vivo esterno dei muri di sponda.

L'altezza dei muri di sponda suole oltrepassare ordinariamente il livello dell'acqua nel tronco a monte di metri 0,60 a metri 0,80; questo margine però, osserva il Minard, può essere ridotto senza gravi inconvenienti. Il profilo di questi muri dal lato delle terre presenta molte varietà. Ve ne ha a riseghe, dei verticali, a scarpa, a strappiombò sulle terre e finalmente con contrafforti. Il profilo a riseghe presenta il vantaggio dell'economia di muratura; quello verticale richiede bensì nei muri uno spessore alquanto più considerevole, ma d'altra parte permette di diminuire la larghezza delle fondazioni e così ridurre d'assai le spese per lo scavo e pei prosciugamenti. Gli ingegneri inglesi ed olandesi che fanno strappiombare i muri di sponda verso le terre, pretendono di riunire i vantaggi dei due metodi precedenti, economia nella muratura e nelle fondazioni. Ciascun sistema è buono secondo le località. Se si fonda senza prosciugamento e che la muratura sia assai costosa, converrà dare un'ampia sporgenza alle fondazioni ed elevare il muro a riseghe. Se invece le fondazioni sono rese difficili da copiose acque, converrà diminuire la larghezza della base ed innalzare verticalmente la parete verso le terre. Se da ultimo i materiali sono estremamente cari si cercherà di diminuire possibilmente la muratura tenendola a strappiombò verso le terre.

I numerosi sostegni costruiti in Europa nel XVI e XVII secolo avevano i muri di sponda muniti di contrafforti. Attualmente gli ingegneri Francesi li hanno soppressi, ma

gli Olandesi e gli Italiani (canale navigabile tra Milano e Pavia) li hanno conservati. Il Minard asserisce che se si calcola il volume dei muri di sponda con contrafforti, supponendoli disposti secondo le norme più favorevoli alla stabilità, non si ha un'economia notevole di muratura comparativamente a dei muri semplici dello spessore riconosciuto sufficiente per resistere alla spinta delle terre. Con tutto ciò l'impiego dei contrafforti è generalmente ritenuto come economico, e la loro origine Olandese sembra giustificare quest'opinione.

I muri di sponda soffrono per parte delle terre addossatevi una spinta, che quando il bacino è vuoto sarà generalmente maggiore di quella che risentirebbe un rivestimento ordinario posto nelle identiche circostanze circa l'altezza, il profilo, e la natura delle terre. Questo dipende dacchè le terre in prosimità della parete esterna, essendo sempre inzuppate d'acqua, la loro coesione resta quasi completamente distrutta, e quindi l'azione loro può venire paragonata a quella di un fluido di considerevole densità. Per queste considerazioni alcuni ingegneri, tra i quali il S. Bertolo, danno ai muri di sponda uno spessore uguale alla metà dell'altezza delle terre sostenute. Il Minard però è d'avviso che si possa ridurre la grossezza media a metri 0,40 dell'altezza. I limiti estremi di questo rapporto si possono ritenere da metri 0,28 a 0,50; questo almeno è il risultato dedotto da ben 400 sostegni che il prefato ingegnere dice d'aver personalmente fatto costruire.

In corrispondenza alle camere delle porte, i muri di sponda devono conservare la stessa grossezza, in conse-

guenza essi dovranno addentrarsi dal lato delle terre per un tratto eguale alla totale larghezza di queste camere, che suole eccedere di metri 0,10 lo spessore delle porte. La lunghezza delle camere ha poi metri 0,15 in più di quella delle imposte corrispondenti.

I muri di sponda si prolungano al di là delle camere delle porte tanto a monte che a valle, e costituiscono i così detti muri di fuga. Si prolungano a monte per preservare la chiusa dall'urto delle barche e per offrire un conveniente incastro alle travicelle contro cui viene appoggiata la tura quando si vuol riparare la platea del bacino; si estendono a valle onde sostenere la pressione trasmessavi dalle porte quando il bacino è colmo d'acqua. Il prolungamento a monte può essere compreso fra metri 1,60 e metri 1,70, quello a valle dipende dall'altezza del salto, dalla larghezza del sostegno e dall'angolo della capriata. In generale però i muri di fuga si sogliono fare tanto a monte che a valle di eguale lunghezza. Il Minard ne fissa in tal modo le dimensioni nel caso di un salto di metri 2,60,

Metri 3,60 a partire dai cardini per una larghezza di bacino di metri 4,50;

Metri 4,30 per una larghezza di metri 5,20;

Metri 5 per una larghezza di metri 6,50.

Il raccordamento tra i muri di fuga e le sponde del canale si ottiene mediante due muri o ripiegati in isquadra, o ad ale divergenti, o secondo un arco di circolo. La prima disposizione però è la più in uso.

Il muro di caduta che serve a sostenere le terre nel

rapido cambiamento di livello del fondo, deve terminare d'appiombo verso il bacino onde non aumentare di soverchio la lunghezza del medesimo. Il suo paramento il più delle volte è costituito da una superficie cilindrica verticale di m. 0,40 a m. 0,60 di saetta. Esso viene coronato da conci in pietra da taglio disposti a guisa di volta o di piattabanda, onde rendere la soglia della chiusa a monte maggiormente atta a resistere alla spinta delle porte. Il muro di caduta si eleva dalla platea del bacino sino alla soglia della chiusa stabilita sulla linea del fondo del tronco a monte, la sua altezza quindi eguaglierà quella del salto o differenza di livello del pelo d'acqua nei due tronchi attigui del canale. Questa dimensione è di una importanza essenziale perchè da essa dipendono esclusivamente le altezze delle diverse parti del sostegno.

Nei canali navigabili vogliono i salti fra i diversi tronchi essere regolati non tanto dietro le condizioni a cui devono soddisfare i sostegni, quanto in correlazione al sistema generale del tracciato. Per quanto spetta all'edifizio della conca, l'esperienza ha dimostrato come il limite della maggior convenienza stia nell'assegnare alla caduta un'altezza non maggiore di metri 3; adottando però tale dimensione può benissimo succedere che col numero stragrande di sostegni risultante si fosse poi obbligati di collocare questi così vicino l'uno all'altro, che per la poca lunghezza di ciascuno o di alcuno dei tronchi del canale, si abbassasse in essi di tanto il livello dell'acqua per la sottrazione di quella quantità che abbisogna onde riempire il bacino del prossimo sostegno, da rendere impossibile la richiesta im-

mersione alle barche. In simili casi conviene diminuire il numero dei sostegni per modo che i tronchi del canale riescano lunghi abbastanza da impedire il suddetto inconveniente; onde accade che minorato tale numero deve necessariamente accrescersi l'altezza delle cadute. Nel canale navigabile fra Pavia e Milano i sostegni hanno cadute diverse comprese fra metri 2 e metri 5.

Quando il salto fra due tronchi attigui di canale fosse assai riguardevole e non si credesse conveniente di superarlo con un solo sostegno si può ricorrere all'espedito dei sostegni *accoppiati*, od *accollati*.

Accollati diconsi due sostegni quando la chiusa inferiore dell'uno serve di chiusa superiore all'altro, in modo da formare due cadute attigue senza che vi rimanga intermedio alcun tronco di canale come succede fra due sostegni isolati. Possono disporsi l'uno in seguito all'altro più di due sostegni accollati, ed il Cavaliere ci informa come nella storia dell'arte si abbia l'esempio perfino di sette sostegni accollati successivi, in modo che le barche per essere trahettate dal tronco a monte al tronco a valle sono obbligate di passare successivamente per sette bacini diversi.

Nel già più volte citato canale di Pavia si hanno due coppie di sostegni accollati, ciascuno dei quali ha un salto di metri 3,80, per cui con ciascuna di esse copie il fondo del canale si abbassa di metri 7,60, caduta che sarebbe stata troppo forte per un sostegno isolato.

Il *controbattente* inferiore delle imposte di ciascuna chiusa è costituito da due travi trasversali che si appoggiano sul

fondo del bacino e formano tra di loro un angolo saliente verso monte. L'assieme di questi due travi dicesi *capriata*.

Le travi della capriata sono spalleggiate da un risalto praticato nella muratura della soglia, e ad essa sono intimamente collegate per mezzo di opportuna ferratura.

Attesa la forma della capriata, le due imposte di una chiusa allorchè vengono a combaciare presentano pure un angolo saliente verso monte; questa disposizione ha per iscopo di attenuare l'urto dell'acqua contro le porte, e di rendere queste, mediante il reciproco contrasto, maggiormente atte a resistere, senza essere obbligati a dar loro enormi dimensioni. La sporgenza adottata per una capriata è generalmente compresa fra $\frac{1}{3}$ ed $\frac{4}{7}$ della totale larghezza della chiusa. Il lato verticale della sezione trasversale delle travi si suol tenere di metri 0,25 a metri 0,30; questa dimensione è sufficiente per procurare una *battuta* di metri 0,12 a metri 0,15 ed altrettanto di gioco tra l'estremità inferiore delle imposte e le superficie della platea.

Le chiusa dei sostegni sono ordinariamente costituite da due imposte che serrate devono contrastare fra di loro ed appoggiarsi contemporaneamente contro la capriata e gli stipiti onde intercettare il passaggio dell'acqua.

Generalmente ciascuna imposta è costituita da due *ritti* verticali riuniti da parecchie *traverse* orizzontali. Il ritto intorno a cui succede il movimento rotatorio dell'imposta è dal Cavalieri chiamato *ritto cardinale*, e *ritto battente* l'altro. Quella specie di ossatura costituita dai ritti e dalle traverse, viene verso monte completamente ricoperta da robusti tavoloni. Questi tavoloni sono disposti in una di-

rezione inclinata, e rinforzati diagonalmente da tiranti in ferro, e ciò onde portare per quanto si può il peso della imposta sul ritto cardinale.

La rotazione delle porte succede attorno ad un perno verticale fissato al piede di ciascun ritto cardinale, di un collare che ne abbraccia la sommità, e talvolta anche col sussidio di una rotella unita al ritto battente e che scorre su apposita guida circolare in ferro disposta sulla platea del sostegno. Il perno è per lo più di ferro acciaiato; esso viene ricevuto in una ralla della stessa materia, oppure di ghisa, solidamente assicurata nella platea. Nella costruzione di alcune porte onde ovviare all'inconveniente del grande attrito, che sempre ha luogo nelle ralle a causa della sabbia di cui esse si riempiono, si fissarono queste al ritto ed i perni alla platea. Questa disposizione ha però l'inconveniente di produrre un pronto scheggiamento del ritto cardinale.

Il diametro dei perni e delle corrispondenti ralle varia a seconda delle dimensioni delle porte. Le ralle poi dovranno sempre, onde opporsi allo sforzo di rotazione che tendono ad imprimere loro i perni, addentrarsi nella platea per un'altezza non minore di metri 0,15.

I collari sono anelli metallici circolari che mantengono la sommità del ritto cardinale nell'asse verticale che passa per il centro del perno. I collari destinati alle porte munite di rotelle non servono che ad impedire le oscillazioni della sommità dei ritto, quelli invece destinati alle porte senza rotelle devono resistere sempre a sforzi di trazione assai considerevoli; questi ultimi perciò dovranno presen-

tare delle dimensioni piuttosto forti comparativamente ai primi. Tanto gli uni quanto gli altri si compongono poi quasi sempre di due parti semicircolari riunite da cerniere; la parte che si trova verso lo stipite è fissata nella muratura per mezzo di due *tiranti* o *ancore*. Le cerniere sono necessarie onde non essere obbligati di svellere dalla muratura i collari ogni volta che si devono rinnovare o togliere d'opera le porte.

I collari sono d'ordinario in ferro. Le loro dimensioni devono esser tali da poter resistere non solo agli sforzi di stiracchiamento, ma ancora a quelli degli urti a cui vanno di continuo soggetti. Perciò si suole calcolarne la sezione trasversale colle formole relative alla trazione, con coefficienti di rottura ridotti ad $\frac{1}{4}$ o ad $\frac{1}{5}$ di quelli ordinari. Per i sostegni dei canali di media grandezza, questi collari hanno metri 0,020 a metri 0,030 di grossezza per metri 0,07 a metri 0,10 di altezza.

I tiranti che servono ad ancorare i collari per entro al massiccio dei muri, possono ritenersi di una lunghezza compresa tra metri 1,50 a metri 2,00 ed il lato della loro sezione quadrata tra m. 0,03 a m. 0,07.

Le rotelle non sono in uso che nelle grandi chiuse. Esse hanno per lo più m. 0,15 a m. 0,30 di diametro, e rotano entro a cuscinetti affrancati all'estremità della traversa inferiore delle imposte.

Gli *stipiti* delle porte sono generalmente in pietra dura apparecchiata colla massima accuratezza, onde evitare la perdita d'acqua attraverso i combaciamenti. Possibilmente essi vanno formati di un sol pezzo.

Si costrussero pure degli stipiti in legno onde evitare la scheggiatura prodotta negli spigoli pello sfregamento delle barche.

La sezione orizzontale di uno stipite deve presentare un tratto rettilineo sul prolungamento del lato adiacente della capriata ed un arco di circolo tangente al medesimo, descritto con raggio alquanto superiore a quello del ritto cardinale. Dalla parte dei muri di sponda si pratica un piccolo *taglio a petto* verticale; lo sfondo della camera è tale che la porta essendo aperta, si hanno circa metri 0,05 di gioco fra il muro e l'imposta corrispondente, e altrettanto di sporgenza tra questa ed il paramento del bacino. Talvolta invece del taglio a petto si accorda il primo arco di circolo con un secondo tangente ad esso ed al muro della camera.

I ritti cardinali sono arrotondati onde poter rotare nella cavità dello stipite. Quando la porta è chiusa, le due imposte devono combaciare per una certa larghezza. A questo scopo gli spigoli dei ritti battenti che verrebbero ad incontrarsi sono tolti mediante un taglio a petto verticale, in modo che il piano di combaciamento divida per metà l'angolo della capriata.

Il metodo più semplice e più economico per riempire e vuotare il bacino di un sostegno è quello dei *portelli* praticati nelle porte delle due chiuse alla loro estremità inferiore. Questi portelli consistono in aperture più o meno grandi di figura rettangolare e circoscritti da robusti telai; essi si chiudono o per mezzo di piccole cateratte, o porticelle di forma ordinaria, oppure per mezzo di sportelli in

bilico disposti in guisa da chiudersi rotando intorno ad un asse orizzontale, situato al di fuori del loro centro di figura. Le cateratte si alzano e si abbassano coll'uso di vericelli, di martinetti o di viti.

Questo sistema ha l'inconveniente, che l'acqua uscendo con gran impeto dai portelli, determina una viva agitazione nel bacino e nel tronco a valle con grave incomodo e sbattimento delle barche che fanno il tragitto, e con pericolo di continue avarie nella platea del bacino e nelle sponde del canale.

Un modo molto usato per riempire e vuotare il bacino di un sostegno è quello delle *trombe* o *condotti laterali*, praticati nella grossezza dei muri di sponda. Le imboccature di questi condotti corrispondono alle camere delle porte, le loro soglie sono al livello della platea. Il loro tracciato gira attorno alla rispettiva chiusa in modo che gli sbocchi cadano immediatamente a valle del muro di caduta, o dei muri di fuga, secondo che si tratta di *trombe caricanti* o di *trombe scaricanti*. Lo sbocco nel bacino succede secondo una direzione obliqua all'asse. Le trombe sono munite alla bocca, ovvero nel mezzo del loro corso di *paratoie* verticali, ovvero di valvole dette comunemente *ventole*, per cui si intercetta e si apre a volontà la comunicazione. Queste trombe devono presentare una luce abbastanza ampia onde la manovra dei sostegni riesca piuttosto celere, sempre abbastanza larga poi onde si possano con facilità internamente visitare e riparare.

Questo sistema presenta il vantaggio di una grande semplicità e speditezza, ma d'altra parte ha l'inconveniente

di dar origine a correnti oblique nel bacino e nel tronco a valle, correnti che tendono a spingere le barche contro il muro opposto ed a degradare i paramenti del bacino e le sponde del canale.

Si è cercato di rimediare a questi inconvenienti dando ai condotti la forma di sifone, in modo da far sboccare l'acqua dal basso in alto. Questo ripiego è stato per la prima volta usato in Francia dal Gauthey nel canale del Centro. In ciascun muro della camera della porta a monte ed allo stesso livello del fondo è praticata una celletta di forma parallelepipeda; dal basso di ciascuna celletta laterale parte un condotto o tubo cilindrico che, discendendo per un tratto verticalmente, si ripiega poi orizzontalmente verso l'altro fin presso al mezzo del muro di caduta, ove di nuovo si volge verticalmente all'insù per sboccare dal fondo di una cavità a vólto praticata nello stesso muro di caduta al piano della platea del bacino. Questi due tubi costituiscono la comunicazione fra il tronco a monte e la conca. La comunicazione tra il bacino ed il tronco a valle ha pur luogo mediante due tubi a sifone stabiliti uno per parte della chiusa inferiore. Ciascuno di questi tubi giace per metà nel muro della camera e per l'altra metà nel muro di fuga contiguo, ove ha il suo sbocco nel fondo di una celletta simile a quella che ne forma l'imboccatura. Le cellette laterali dalle quali hanno origine ed a cui terminano i tubi di comunicazione, possono presentare la forma di un cubo di 1 metro circa di lato. Il loro fondo è generalmente formato da una grossa lastra di pietra, nel mezzo della quale è incavata l'imboc-

catura della tromba a forma di imbuto troncoconico e di cui la sezione minore presenta in media un diametro di m. 0,65.

I tubi di condotta si possono ricavare da massi di pietra; riesce più facile ed economico però il farli in ghisa. Alla imboccatura dei tubi sono adattati dei turaccioli amovibili che permettono di stabilire e di intercettare a volontà le comunicazioni. Questi turaccioli consistono in un ceppo di legno di forma troncoconica corrispondente a quella dell'imbuto. In questi ceppi sono infilate delle aste di ferro che passando per fori verticali aperti nel mezzo delle cellette si elevano al di sopra del coronamento del muro di sponda, onde potere stabilire od intercettare la comunicazione.

Il buon regime dei canali navigabili richiede che a monte di ciascun sostegno sia praticata nelle sponde una bocca per cui le acque entrando in un condotto laterale, vadano a sboccare nel tronco a valle. Questa bocca d'estrazione od ha la sua soglia elevata sul fondo del canale in modo che l'acqua non possa scaricarsi se non quando oltrepassa l'altezza necessaria per la navigazione; oppure ha la sua soglia al livello del fondo e va armata di paratoie da aprirsi a volontà per sottrarre dal canale più o meno acqua secondo le occorrenze, od anche divertirla affatto se per qualche circostanza si rende necessario di tenere per alcun tempo inoperoso e vuoto il sostegno. Nel primo caso la bocca d'estrazione prende il nome di *sfiatore*, nel secondo quello di *scaricatore*.

Il condotto laterale segue un corso parallelo all'asse del

sostegno ed è ordinariamente ricoperto da lastre, o da una vòlta quando la sua larghezza lo esiga.

Il carico che devono sopportare le fondazioni dei sostegni riferito all'unità di superficie, è senza dubbio minore di quelle che sopportano le fondazioni dei ponti, dei viadotti ed anche delle abitazioni ordinarie. Non sarà quindi tanto sotto un tal punto di vista che si dovranno considerare le fondazioni dei sostegni, quanto sotto quello della pressione continua che si esercita da monte a valle per effetto della ritenuta d'acqua, e che tende a produrre la distruzione delle soglie, e sotto quello delle filtrazioni che possono con grave danno succedere. Sarebbe difficile il suggerire norme precise pella scelta delle fondazioni in ogni caso particolare, tuttavia ecco alcune precauzioni indicate dal Minard come utili ad aversi in determinate circostanze.

Terreno roccioso e compatto — Innestare per quanto si può la roccia alle murature, prevenire le infiltrazioni attraverso le unioni con immorsature dall'alto al basso della platea, e con contrafforti dietro i muri di sponda; se la durezza della roccia lo permette si può ammettere la platea; non si tralascierà però mai dal murare le soglie ed anche il fondo in corrispondenza alle camere della chiusa.

Terreno sodo, ma suscettibile di corrosione. — Se il terreno può venir smosso dall'urto dell'acqua che si precipita nel bacino, basta una platea che gli serva da rivestimento, di spessore compreso fra metri 0,25 a metri 0,35. Per impedire però che l'acqua vi si possa infiltrare per disotto e sollevarla, riesce conveniente di farla precedere da uno sprone verticale, spinto a maggior profondità.

Se il terreno sodo è ricoperto da uno strato sabbioso o di terra ordinaria non maggiore di metri 2 a metri 2,50, si può raggiungere il primo con massicci di calcestruzzo, in corrispondenza alla larghezza ed al sito occupato dai muri di sponda. Non riesce il più delle volte necessario estendere questi massi in tutta la larghezza della platea essendo piuttosto da temersi una tendenza al sollevamento che all'affondamento.

Terreno incompressibile e mobile. — Nei terreni di tal natura, come sarebbero i sabbiosi, i ghiaiosi, ecc., conviene fondare immediatamente sul suolo dando alla platea una grossezza variabile tra metri 0,60 a metri 2 secondo la caduta, la larghezza del sostegno e la qualità della muratura; opporsi alle filtrazioni per disotto con massicci di calcestruzzo, e con muri discendenti più in basso delle fondazioni generali, e disposti trasversalmente al sostegno a monte ed a valle e sotto le soglie; oppure battendo delle file di palanche a contatto sotto tutta la larghezza del sostegno, o ancora tenendo la platea più alta sotto le soglie e le camere a valle delle chiuse, e finalmente facendo una *retroplatea* a valle, la cui grossezza decresca allontanandosi dal sostegno.

Terreno mediocrementemente compressibile. — Adottare il sistema delle palificazioni trasversali al sostegno; disporre la platea su graticolato o pavimento di tavoloni, battere i pali a contatto sotto le soglie, ed evitare nel graticolato le longarine continue da monte a valle.

Terreno indefinitivamente compressibile. — Scavare superficialmente, incassare lo spazio destinato all'opera d'arte

mediante battute di pali a contatto, assodare il terreno circoscritto con scogliera di pietrame ben piggiata, o meglio con palafitte affondate colla testa in basso, procedendo dal perimetro al centro dell'escavazione, finalmente stabilire la platea su graticolato e pavimento generale di tavoloni.

Terreno naturale. — Quando si fonda su terreno naturale, non è necessario di ottenere il fondo perfettamente secondo un piano di livello; basta praticare la trincea in modo che presenti trasversalmente una contropendenza rientrante, e procuri lo scolo delle acque secondo l'asse del sostegno da monte a valle. Nei sostegni aventi metri 5,20 di larghezza e metri 2,50 di caduta si suol dare alla platea in muratura (compreso il calcestruzzo) uno spessore variabile tra metri 0,30 a metri 1,50, e più comunemente tra metri 0,80 e metri 0,90. In questo caso si conforma sovente la platea a volta rovescia con piccola saetta; disposizione che tende a riportar contro i muri di sponda la sottoppressione risentite dalla platea a causa delle differenze di livello fra l'acqua del tronco a monte ed il suo piano inferiore.

Quanto alla materiale struttura delle diverse parti d'un sostegno, si può ritenere non essere necessario l'impiego della pietra da taglio che nelle fronti, nei coronamenti, negli stipiti, nelle camere delle porte, nelle soglie e negli incastri. Tutti gli altri paramenti possono essere in muratura di pietrame o di mattoni.

Le soglie devono essere, per quanto si può, in pietra dura e resistente; la grossezza dei loro cunei (dimensione

verticale) non deve essere inferiore a metri 0,60 per una caduta di metri 2,60. I cunei estremi devono penetrare nei muri di sponda al disotto degli stipiti.

Le due fronti della platea sono pure ordinariamente in pietra da taglio. Il tratto di platea sottostante al muro di caduta, essendo esposto all'urto dell'acqua quando si riempie il bacino, deve essere ricoperto da lastre in pietra per una lunghezza di 3 o 4 metri. La parte compresa fra i muri di fuga deve pure essere lastricata accuratamente. Quando le diverse pietre del pavimento non riescano abbastanza intimamente unite al massiccio inferiore sul quale sono poste, si possono rendere solidali tra di loro per mezzo di chiodi in ferro, o di incastri a coda di rondine; queste disposizioni hanno per iscopo di fortificare il sistema contro la corrente che esce dal bacino, e contro l'azione del sollevamento.

IV

Condizione indispensabile ad assicurare in ogni tempo la navigazione sui canali si è che il pelo d'acqua nei medesimi non discenda mai oltre un limite minimo da stabilirsi preventivamente. Ora la quantità d'acqua contenuta in un canale è soggetta a continue perdite provenienti da cause diverse; bisognerà quindi nello studio del canale fare un calcolo approssimativo del consumo giornaliero d'acqua che sarà per avvenire, paragonare questa quantità con quella

che può essere giornalmente fornita dalle sorgenti disponibili, e da questo confronto dedurre se sia o no il caso di fare opere accessorie di derivazione onde ottenere quel limite voluto del pelo d'acqua.

Le cause di perdita dell'acqua contenuta in un canale si possono essenzialmente ridurre alle seguenti:

- 1° Evaporazione;
- 2° Filtrazione attraverso alle pareti;
- 3° Fughe attraverso le chiuse dei sostegni;
- 4° Riempimento dei tronchi di canali stati vuotati per eseguirvi accidentali riparazioni;
- 5° Le concate ossia il volume d'acqua necessario alla manovra dei sostegni.

Fra tutte queste cause l'unica suscettibile di essere valutata con una certa esattezza si è l'ultima, giacchè tutte le altre sono dipendenti da circostanze variabili di tempo, di luogo e di costruzione. Si è quindi costretti ad indicare un procedimento di calcolo solo per quanto riguarda il consumo d'acqua cagionato dalla manovra dei sostegni, ed a limitarsi pelle altre cause di perdita, a dare alcune norme generali consigliate dall'esperienza.

Nel caso di un sostegno semplice, detta A l'area della base della conca, H la differenza di livello che si deve superare, AH sarà il volume d'acqua d'ogni conca, e se $2m$ è il numero delle barche che giornalmente passano per quel sostegno, $2mAH$ sarà il consumo giornaliero d'acqua da esso cagionato.

Si consideri ora un sostegno accollato formato da K sostegni semplici eguali. Osservando come per far discendere

una barca lo stesso prisma d'acqua che servi a farla tragit-
tare dal tronco superiore del canale nella prima conca, serve
ancora per il suo passaggio successivo da questa alla se-
conda, e così di seguito, ne risulta che qualunque sia il
numero dei sostegni semplici, per ogni barca che discende
occorrerà un volume d'acqua eguale ad AH . Per ogni barca
che deve ascendere si vede come sieno invece necessari tanti
prismi d'acqua eguale ad AH quanti sono i sostegni sem-
plici, ossia un volume totale d'acqua, KAH , quindi per
ogni coppia di barche, d'una che sale e d'una che di-
scende, si consumerà il volume $A(K+1)H$; e se m è il
numero giornaliero delle coppie $mA(K+1)H$ sarà il con-
sumo giornaliero d'acqua prodotto dal sostegno.

Giova osservare come il risultato ora ottenuto è basato
sull'ipotesi che in tutti i sostegni si trovi sempre un'altezza
d'acqua eguale a quella che esiste nel canale; ora prati-
camente spesso non è così, giacchè allo scopo di non
sottoporre continuamente alla pressione dell'acqua le porte
dei sostegni, questi si tengono tutti asciutti eccetto l'ultimo
inferiore. Pei sostegni così regolati ecco il modo di calco-
lare il consumo d'acqua necessario alla loro manovra. Sia
 h l'altezza dell'acqua nel canale, sia nel tratto superiore che
nell'inferiore, e si ritengano le altre denominazioni prece-
denti. Per far passare una barca dal tratto superiore, nella
prima conca, bisognerà in questa introdurre il volume:
 $A(H+h)$. Per passare quindi la barca dalla prima alla
seconda conca bisognerà introdurre in quest'ultima il volume
 $A(H+h)$ e nella prima il volume Ah giacchè questa non
potrà mettersi all'asciutto finchè vi è la barca. Per passare

finalmente dalla seconda alla terza conca non occorrerà ulteriore quantità d'acqua poichè basterà far discendere il volume $A(H+h)$ dalla seconda nella terza, ed il Ah dalla prima nella seconda. Cosicchè, qualunque sia il numero dei sostegni semplici per ogni barca che discende sarà necessario il volume d'acqua

$$A(H+h) + Ah = A(H+2h).$$

Si consideri ora una barca alla salita: per farla passare dall'ultima conca (la quale si trova allo stesso livello del tratto inferiore di canale) alla penultima, ci vorrà il volume d'acqua $A(H+h)$. Per il successivo passaggio bisognerà introdurre nella terz'ultima conca il prisma Ah e nella penultima il AH , ossia occorrerà ancora una seconda volta il volume $A(H+h)$; così di seguito tante volte il volume $A(H+h)$ quanti sono i sostegni meno uno, giacchè per l'ultimo passaggio dalla prima conca al tratto superiore di canale sarà sufficiente il volume AH trovandosi di già nel canale l'acqua all'altezza h . In risultato sarà dunque necessario per ogni barca che ascende consumare il volume d'acqua $A[KH + (K-1)h]$. Sommando questo valore con quello sopra trovato per il consumo fatto da ogni barca che discende si ha per consumo fatto da ogni coppia di barche:

$$A[HK + h(K-1)] + A(H+2h) = A(K+1)(H+h).$$

Ed essendo m il numero giornaliero delle coppie:

$$Am(K+1)(H+h)$$

sarà il consumo giornaliero d'acqua cagionato dal sostegno.

Qualora il sostegno fosse solamente doppio l'ultima espressione non è più applicabile, giacchè per ogni barca che discende invece dal volume $A(H + 2h)$ sarà solo necessario il $A(H + h)$; ed essendo $A(2H + h)$ quello occorrente per ogni barca che sale, sarà: $A(3H + 2h)$ il consumo fatto da ogni coppia di barca, ed $mA(3H + 2h)$ indicherà il consumo giornaliero d'acqua in questo caso particolare.

Le perdite per evaporazione dipendono essenzialmente dal clima in cui si trova il canale. Queste perdite sono però compensate in parte dall'acqua piovana, per cui il calcolo di esse si farà nel modo seguente: dall'altezza d'acqua annualmente evaporata e data da esperienze locali, si tolga quell'altezza che indica la quantità d'acqua piovana annuale che cade in quest'istesso sito; questa differenza moltiplicata per la superficie libera del canale, serbatoi, condotti alimentatori e simili darà il consumo annuale di acqua cagionato dalla evaporazione. Giova tuttavia osservare come questo procedimento dia un risultato di solo grossolana approssimazione giacchè non è lecito di ammettere un esatto paragone tra l'evaporazione che ha luogo in un canale in aperta campagna, e quella in vasi in cui si fanno le esperienze. A motivo di ciò la prudenza consiglia di basare i calcoli, anzichè su medie annuali, su risultati comparativi di evaporazione e di pioggia, ottenuti nei giorni od almeno nelle settimane le più sfavorevoli.

La permeabilità del terreno in cui è aperto il canale è una delle cause più potenti di perdita d'acqua; essa può alle volte esser tale da necessitare lavori speciali per combatterla. Le perdite, che per questo motivo si verificano, di-

pendono dalla natura del terreno, dall'altezza dell'acqua nel canale, e da quella delle acque adiacenti al medesimo. È impossibile a questo riguardo dare alcuna norma generale; in ogni singolo caso la questione della permeabilità vorrà essere attentamente studiata e dedurne quindi le pratiche conseguenze necessarie. Si ritiene come impermeabile un canale quando, a motivo delle infiltrazioni l'abbassamento del suo pelo d'acqua non è maggiore di metri 0,03 a 0,04 al giorno.

La più o meno accurata esecuzione della muratura e delle porte dei sostegni, la loro età ed altre circostanze accidentali danno luogo ad un passaggio d'acqua da ogni tronco superiore di canale a quello inferiore, e quindi ad una perdita che il Minard fissa ad un minimo di 300 metri cubi giornalieri.

Finalmente per il riempimento dei tronchi di canale stati messi a secco, occorrerà un consumo d'acqua eguale al volume del tronco da riempire, più una quantità variabile colla natura delle terre, e che queste assorbono quando asciutte vengono messe in contatto dell'acqua.

Allo scopo di unire alle considerazioni teoriche le quali regolano la costruzione di un canale navigabile, qualche esempio pratico, si porrà termine a questa dissertazione citando alcuni dati numerici dei principali canali navigabili dell'Alta Italia, i quali sono pure tutti ad un tempo canali di irrigazione.

Gran canale del Ticino, detto il Naviglio grande. — Questo canale ha origine dal Ticino a Torna-vento presso Lonato, e passando per Turbigo, Buffalora, Robecco, Castelletto, Gaggiano e Corsico, va a Milano misurando una lunghezza complessiva di metri 49982. Pei primi 20 chilometri, ove segue la valle del Ticino, ha l'apparenza d'un vero fiume naturale, con sinuosità considerevoli, e larghezze variabili da metri 22 sino a metri 50. e profondità da m. 1,30 a metri 4. Pei 12 chilometri successivi scorre a mezza costa ov'è sostenuto da un argine; ivi presenta irregolarità meno considerevoli sebbene le sue larghezze variino ancora da metri 18 a metri 24, e le profondità da 1,10 a 2,70. Finalmente nell'ultima sua parte segue un andamento più rettilineo; la larghezza non varia più che tra metri 12 e 18, e la profondità tra 1,25 e 2,55. La pendenza totale del canale è di metri 33,52 divisa nel modo indicato dal quadro seguente:

Punti principali del Canale	Lunghezze	Pendenze assolute	Pendenze per Chm.
	Chilometri	Metri	Metri
<i>Presà dell'acqua al Ticino</i>			
Ponte di Cassano	5,395	8,342	1,546
» Turbigio	1,832	1,565	0,854
» Paregnano	1,906	2,345	1,221
» Castelletto di Cuggiono . .	4,484	3,227	0,720
» Bernate	3,136	0,632	0,202
» Buffalora	1,645	0,435	0,277
» Magenta	2,896	2,748	0,949
» Robecco	2,530	2,801	1,107
» della Cascinetta	2,354	2,750	1,169
» di Castelletto d'Abbiategrasso	3,554	4,152	1,169
» Gaggiano	7,810	2,886	0,370
» Bonirolo	1,320	0,778	0,134
» Trezzano	1,654	0,248	0,150
» Corsico	3,496	0,661	0,189
» San Cristoforo	4,032	0,422	0,104
» della strada di circonvallazione	1,800	0,012	0,006
Sbocco presso la Porta Ticino a Milano	138	0,000	0,000
TOTALI . .	49,982	33,520	

I battelli che percorrono questo canale non devono avere una larghezza maggiore di metri 4,75, nè pescare più di metri 0,75.

La presa d'acqua a Tornavento venne misurata in 52^{mc.},828 al minuto secondo; e le perdite per evaporazione, filtrazione e simili si ritengono in media di 4^{mc.},488 pure al secondo e sull'intero canale.

Canale di Bereguardo. — È derivato dal Naviglio grande, presso il ponte di Castelletto d'Abbiategrosso; costeggia per un tratto la strada da Milano a Vigevano, quindi si rivolta a sinistra, e passando pei territori di Abbiategrosso, Bugo, Caselle, Morimondo, Coronate, Baciano, Besate, Motta-Visconti e Zelada va a finire a Bereguardo con una lunghezza totale di chil. 18,848. La pendenza totale è di metri 24,556 i quali vengono superati 20^m,67 mediante undici sostegni, e gli altri 4,086 col dare al fondo dei varii tratti del canale una debole pendenza e quasi uniforme di metri 0,22 per chilometro. La larghezza ordinaria del canale all'altezza del pelo d'acqua è di metri 10; in qualche punto però aumenta sino a 13 metri. L'altezza d'acqua, maggiore in estate che in inverno, come accade nel Ticino, varia da metri 1,20 ad 1,80. Il volume d'acqua trasmesso dal Naviglio grande a quello di Bereguardo è di metri cubi 4,368 al secondo.

Nel quadro seguente sono indicate le lunghezze e le pendenze dei varii tratti del canale.

PUNTI PRINCIPALI DEL CANALE	LUNGHEZZE	PENDENZE assolute	PENDENZE per Chm.	CADUTE dei sostegni
	Chilometri	Metri	Metri	Metri
<i>Ponte di Castelletto</i>				
1° sostegno	1,518	0,333	0,220	1,900
2° »	1,172	0,151	0,138	1,137
3° »	1,119	0,096	0,063	2,038
4° »	1,683	0,302	0,179	1,915
5° »	1,731	0,213	0,370	2,144
6° »	1,626	0,399	0,243	2,300
7° »	1,458	0,122	0,083	1,030
8° »	0,932	0,433	0,436	1,979
9° »	2,305	0,351	0,152	2,412
10° »	1,906	0,312	0,595	2,166
11° »	1,714	0,252	0,147	1,602
Bereguardo	1,684	0,672	0,400	»

Canale di Pavia. — Comincia sotto le mura di Milano ove termina il Naviglio grande, e va a scaricarsi nel Ticino a Pavia, costeggiando continuamente la strada ordinaria tra le due dette città. La sua lunghezza è di chilometri 33,103. La larghezza è di metri 10,80 al fondo e di 11,60 al livello superiore delle sponde. Presso Pavia, ove si fermano più specialmente i battelli questa larghezza viene successivamente portata a 14, 20 e 65 metri, la quale ultima è quella del gran bacino situato all'estremità inferiore del canale. L'altezza dell'acqua varia da metri 1,20 ad 1,65. La pendenza totale è di metri 56,610 superati mediante dodici sostegni 52^m,210, e con una pendenza media di metri 0,13 per chilometro del fondo dei varii

tratti, gli altri metri 4,40, come appare dal quadro seguente:

PUNTI PRINCIPALI DEL CANALE	LUNGHEZZE	PENDENZE assolute	PENDENZE per Chm.	CADUTA dei sostegni
	Chilom.	Metri	Metri	Metri
<i>Porta Ticino a Milano</i>				
1° sost.°, la Conchetta	0,774	0,000	0,000	1,855
2° » del Lambro	2,211	0,600	0,271	4,655
3° » di Rozzano	5,418	0,900	0,166	3,600
4° » di Moirago	1,432	0,400	0,280	1,700
5° » di Casarile	0,469	0,760	0,118	4,800
6° » di Nivolto	3,644	0,400	0,110	3,500
7° » della Torre di Mangano . . .	3,679	0,400	0,109	4,400
8° » di Cassinciro	3,173	0,460	0,145	4,800
9° » di Porta Stoppa in Pavia . .	4,330	0,480	0,111	4,400
10° » doppio, del bast. della botanica	0,865	»	»	3,800
11° » doppio, della Porta di Cremona	0,344	»	»	3,800
12° »	0,377	»	»	3,300
Sbocco al Ticino	0,187	»	»	»
TOTALI . .	33,103	4,400		52,210

Tavola delle dimensioni dei sostegni

NUM. D'ORDINE dei sostegni	LUNGHEZZA totale	LARGHEZZA TRA LE SPALLE	
		minima	massima
	Metri	Metri	Metri
1	50,00	5,06	6,26
2	53,00	5,40	5,40
3	49,60	5,06	6,26
4	49,50	5,06	6,26
5	52,00	5,06	6,26
6	51,00	5,06	6,26
7	56,00	5,06	6,26
8	104,00	5,20	6,20
9			
10			
11	107,00	5,20	6,20
12	66,80	5,20	6,20

I più grandi di questi sostegni si riempiono d'acqua in quattro minuti, e si vuotano in sei. Un uomo solo manovra le porte mediante una pertica munita d'uncino.

Questo canale ha, come si disse, da una parte la strada ordinaria tra Pavia e Milano larga 6 metri, e dall'altra una strada alzaia la quale venne pure portata a 6 metri di larghezza. Delle colonnette di granito sormontate da un architrave pure in granito, formano parapetto alle due strade verso il canale. Il limite delle dimensioni dei battenti è fissato a 32 metri di lunghezza, 4 di larghezza e 0,75 di tirante d'acqua.

Canale della Martesana. — È derivato dall'Adda presso Trezzo; cammina sin verso Cassano in direzione parallela al corso del fiume, quindi si risvolta quasi perpendicolarmente, e si dirige su Milano passando per Gorgonzola e Crescenzago. Della sua origine sino alle mura di Milano, misura chilometri 38,500; a questi aggiungendo i chilometri 6,485, lunghezza del canale interno della città, si ha per lunghezza totale del canale della Martesana chilometri 44,985.

Pendenze e lunghezze del Canale

PUNTI PRINCIPALI DEL CANALE	LUNGHEZZE	PENDENZE assolute	PENDENZE per chilom.	CADUTA dei sostegni
	Chilometri	Metri	Metri	Metri
<i>Presa d'acqua alla riva destra dell'Adda</i>				
Ponte di Vaprio	3,602	1,307	0,419	»
» di Gropello	4,661	1,623	0,349	»
» di Cassano	1,090	1,320	0,294	»
» di Inzago	3,140	2,080	0,662	»
» delle Fornaci	5,254	1,470	0,443	»
» di Gorgonzola	5,680	0,770	0,212	»
» di Colombarolo	2,830	1,170	0,414	»
» di Cernusco	3,070	1,176	0,578	»
» di Vimodrone	3,810	1,900	0,499	»
» di Matalino	1,356	0,624	0,461	»
» di Crescenzago	2,208	0,907	0,440	»
» di Gorla	2,022	0,962	0,377	»
» di Greco	1,185	0,469	0,396	»
Sostegno della Cascina	0,541	0,460	0,111	»
Acquedotto di S. Marco sotto le mura di Milano	2,217	1,728	0,778	1,822
<i>Totale</i>	58,696	17,166		1,822
Caduta del sostegno		1,822		
<i>Pendenza totale</i>		18,988		

Canale interno

PUNTI PRINCIPALI DEL CANALE	LUNGHEZZE	PENDENZE	PENDENZE	CADUTA
		assolute	per chilom.	dei sostegni
	Chilometri	Metri	Metri	Metri
<i>Acquedotto di S. Marco</i>				
Sostegno dell'Incoronata . .	0,068	0,081	0,778	1,700
Grande sostegno di S. Marco	0,704	0,248	0,552	1,793
Sostegno del Ponte Marcel- lino	0,167	0,252	1,509	0,499
Sostegno di Porta Orientale	0,897	0,310	0,345	0,749
Bacino di Viarenna	3,254	1,255	0,386	1,493
<i>Totale</i>	5,090	2,116	»	5,834
Caduta dei sostegni	»	5,834		
<i>Pendenza totale</i>	»	7,950		

La portata del canale è di 25^{mc},696 al minuto secondo; la presa essendo stata misurata in 28^{mc},776, ne risulta una perdita di 3^{mc},080 al minuto secondo.

L. C. SOLLIER.

TESI LIBERE

Generalized approach to business practice

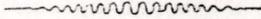
TEST LIBRE

International approach to business practice

International approach to business practice

International approach to business practice

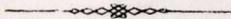
Meccanica applicata ed Idraulica pratica



Urto di una vena lanciata contro una lastra. — Teoria di Lagrangia.



Macchine a vapore e Ferrovie



L'iniettore Giffard è più economico che le trombe alimentari a vapore.

Costruzioni civili, idrauliche e stradali

Resistenza dei solidi inizialmente curvi all'azione di forze contenute nel piano del loro asse.

Geometria pratica

Planimetro polare di Amsler.

