

Ing. ETTORE d' ELIA

Ingegnere Capo della Provincia di Napoli

Le arginature del Volturno da Capua al mare,
in difesa delle opere di bonifica e delle strade
della Provincia di Napoli.

(1929 VII.)

TIPI ANTONIO AMOROSO

Cavone a Piazza Dante, 12 - Napoli

MCMXXX

*ALLA MEMORIA
DEI MIEI GENITORI*

Il fiume Volturno, il più importante dell'ex Reame di Napoli, nel suo ultimo tratto, che va dall'abitato di Capua alla foce nel Tirreno, con direttrice Nord-Est Sud-Ovest, si svolge per una lunghezza di oltre Km. 43 su una distanza in linea retta di soli Km. 26.000, formando delle ampie lunate e scorrendo nelle proprie alluvioni, le quali hanno dato luogo alla formazione della quasi totalità di quella vasta plaga pianeggiante, che prende la denominazione di *Mazzoni*.

In quest'ultimo tratto il fiume non riceve alcun affluente, anzi le sue acque di piena, cariche di torbide, formate da limo fertilissimo, sono state per più anni, e lo sono tuttora, distratte, mediante diversivi, per colmare le bassure paludose ricadenti ai due lati del fiume, a cominciare poco a valle dagli abitati di Cancellone ed Arnone e terminanti alle dune litoranee.

Le opere di bonifica per colmata, iniziate negli ultimi anni del cessato Governo Borbonico e proseguite fin'oggi, hanno determinato il risanamento idraulico ed igienico di estese zone, le quali sono ora sottoposte a coltivazione.

Le zone della vallata più distanti dal fiume, le

quali in sinistra formano la campagna Vicana ed in destra ricadono adiacentemente al corso d'acqua denominato Regia Agnena, saranno bonificate mediante prosciugamento meccanico, onde raggiungere il loro risanamento nel minor tempo possibile. Del pari, altre zone estese in sinistra del fiume, che non ancora hanno raggiunta la quota di colmata, saranno bonificate con impianti idrovori.

Per la Campagna Vicana e per quasi tutta la sinistra i lavori sono pressochè ultimati a cura dei Consorzi degli interessati, appositamente costituitisi, e, per le zone adiacenti alla Regia Agnena, è da prevedersi che i lavori saranno iniziati a breve distanza di tempo.

Da quanto precede, risulta che le plaghe formanti i Mazzoni, che 70 anni fa costituivano una immensa palude inaccessibile, descritta magistralmente dal barone Savarese, Presidente della Commissione per le opere di bonifica sotto il Governo di Ferdinando II, formano ora, nella loro quasi totalità, e formeranno integralmente, fra breve, una delle zone più rigogliose del Mezzogiorno d'Italia, nella quale l'agricoltura trova ampio sviluppo per la fertilità eccezionale del terreno ed ove prosperano industrie agricole di forte entità.

Il problema stradale, impostato con criteri larghi e sani fin dallo inizio della bonifica, al principio della seconda metà dello scorso secolo ha seguito lo sviluppo del risanamento idraulico della regione. Arterie stradali importanti furono aperte per congiungere l'allora capitale del Regno con la zona bonificata. Una strada di circa 50 chilometri parte da Capodimonte, raggiun-

ge Villa Literno e prosegue per Canello Arnone e Mondragone, mentre altre strade ampie uniscono i terreni sotto bonifica con i centri abitati più importanti, quali Capua, Marcianise, Santa Maria Capua Vetere, Aversa, Carinola, Sparanise ecc. A questa rete *base* si è attaccata man mano un'altra che la completa e che allaccia tutti i numerosi altri comuni che ricadono nel comprensorio di bonifica con le zone risanate e sottoposte a coltivazione.

La manutenzione di tutta la presente rete stradale, salvo pochi tratti, è ora a carico della Provincia di Napoli.

Senonchè, a misura che siffatto risultato si è venuto conseguendo, si è determinata la necessità di difendersi dalle esondazioni del fiume, e la costruzione delle occorrenti opere non può ulteriormente essere rimandata se non si vuol perpetuare un elemento di svalutazione a tutti i vantaggi già conseguiti ed a quegli altri che si conseguiranno con l'ultimazione delle bonifiche idrovore, delle quali si è innanzi fatto cenno, e con la completa sistemazione stradale, a cui si è accinta la Provincia di Napoli.

Il Volturno, infatti, va soggetto a piene di rilevante entità, le quali, a valle di Capua, non sono contenute nell'alveo del fiume ed esondano violentemente, arrecando danni gravissimi alle persone ed alle cose. Esse sono causa della perdita di numerose mandrie di bestiame, e della distruzione di grandi quantità di prodotti agricoli, di danni ingenti alle opere stradali e di bonifica e mettono finanche in pericolo la vita

dei contadini che abitano le case sparse in campagna.

Le acque di piena invadono la pianura, agevolate in ciò dal naturale declivio che la campagna presenta in senso trasversale al fiume, dal fiume stesso verso i terreni laterali, e sfociano a mare dai Regi Lagni in sinistra e dalla Regia Agnena in destra.

Le acque fuoruscite, quindi, non rientrano nel letto del fiume, ma, percorrono le campagne laterali basse, investendo e danneggiando, o distruggendo addirittura, quanto incontrano nel loro cammino.

Il problema dell'arginatura del Volturno, malgrado le considerazioni svolte, è stato solo in parte esaminato ed in più piccola parte attuato.

Occorre accennare succintamente a quanto già è stato fatto, aggiungere gli elementi nuovi che si son potuti raccogliere e prospettare gli altri provvedimenti da adottare, onde eliminare in modo completo e definitivo, nei limiti di sicurezza che il problema, per la sua natura speciale, presenta, il pericolo che oggi sovrasta a quelle ubertose campagne.

Nel 1903 fu redatto un progetto per l'arginatura del Volturno nel tratto fra gli abitati di Brezza-Grazzanise e Canello Arnone, ed i lavori in esso previsti vennero eseguiti. Le arginature seguono senz'altro la direttrice generale del fiume, lasciando in golena le lunate. Fu possibile stabilire il tracciato suddetto in considerazione che i proprietari dei terreni rimasti in golena non avanzarono alcuna pretesa di indennità, le quali si limitarono al pagamento per il definitivo acquisto solo del suolo occupato dagli argini. Anzi

qualche proprietario richiese che i suoi terreni venissero inclusi nelle golene, per fare risentire ad essi il vantaggio dovuto al deposito del fertile limo trasportato dalle piene del fiume.

Gli argini furono eseguiti col terreno prelevato dall'apertura di contrafossi di scolo e di cave di prestito nelle zone in golena, con la cresta larga m. 2,50 anche per consentire il transito di leggeri mezzi di trasporto al personale di sorveglianza, e con le scarpate aventi l'inclinazione di 1,00 su 1,25 di base. L'altezza media dal piano di campagna risulta di circa m. 2,00, seguendo le creste arginali una pendenza pressochè parallela al pelo idrico del fiume in periodo di piena. La considerazione importante che si deduce dall'eseguito lavoro di arginatura è che, salvo rari casi, con la struttura adottata, gli argini si sono consolidati ed hanno corrisposto pienamente alle loro finalità. Anzi i piedi degli argini, dal lato interno, sono stati, generalmente, ricalzati dal maggiore sedimento che ivi hanno lasciato le torbide del fiume e la saggina trasversale del corso d'acqua, considerata fra le arginature, assume ora, grossolanamente, la forma concava, mercè l'eliminazione del leggero pendio in discesa che naturalmente esisteva a cominciare dai cigli delle sponde del fiume, come si è innanzi fatto cenno.

Nel 1914 fu poi studiata dagli uffici competenti l'arginatura del Volturno nel tratto a monte del primo e cioè da Capua a Brezza-Grazzanise, al fine di evitare le esondazioni nel tratto medesimo, le quali cominciano a verificarsi, durante le forti piene, a circa

due chilometri a valle dell'abitato di Capua. Senonchè non fu possibile seguire il criterio adottato nel progetto del 1903 per le arginature da Brezza-Grazzanise a Canello Arnone. cioè di tracciare le arginature stesse secondo la direttrice generale del fiume, poichè i proprietari dei terreni rivieraschi richiesero indennità ingenti.

Fu, quindi, meglio studiato il problema, adottando una soluzione, che corrisponde ai seguenti principi informativi :

a) le arginature dovevano essere sufficienti a contenere le massime piene del fiume, senza presentare eccessiva larghezza in golena, come pel tratto da Brezza-Grazzanise a Canello Arnone ;

b) si dovevano utilizzare, per quanto possibile, le arginature esistenti nel tratto in disamina, opportunamente sistemate ;

c) infine si rendeva indispensabile conseguire la massima economia nelle forti spese di espropriazione, in relazione ai due precedenti principii esposti.

I lavori previsti in quest'ultimo progetto, per difficoltà diverse, non sono stati eseguiti. Ripetiamo intanto alcune considerazioni che sono esposte nel progetto del 1914, aggiungendo tutti gli altri elementi osservati, e, dallo assieme, trarremo le direttive per determinare le modalità da adottare per le arginature nel tratto Capua-Brezza-Grazzanise e nel tratto ultimo del fiume Canello-Arnone-Dune marine.

Dalla relazione del citato progetto, si desumono i seguenti elementi tecnici :

Per determinare la minima distanza da assegnare fra gli argini, nonchè la loro altezza per ogni sezione del fiume, furono istituiti studi e rilievi sul regime di piena del Volturno, integrandoli con notizie (ben poche invero) che si conoscevano sulle sue piene straordinarie; notizie che possono riassumersi nella portata massima affermata di circa mc. 2000; nella velocità superficiale, misurata con galleggiante nella piena del 3 dicembre 1890, in m. 3,60; nel fenomeno di escavazione del suo letto, che si manifesta in proposizioni rilevanti in questo fiume, come provano i profondi franamenti di sponda che si determinano improvvisi e numerosi durante ogni piena.

All' uopo furono eseguiti per un lungo periodo invernale numerosi rilievi di una fra le sezioni più ristrette e più regolari del fiume presso il traghetto di Grazzanise, prelevando volta a volta nelle successive piene, mediante corda di acciaio tesa fra le due sponde e scandagli, la sezione che assumeva temporaneamente l' alveo, allo scopo di desumere un criterio circa i rapporti fra la profondità della escavazione di fondo, la velocità superficiale e l' importanza della piena commisurata alle letture idrometriche.

Risultato di tali sperimentali ricerche e delle ipotesi logiche su esse impostate fu che potevasi con sicurezza limitare a 60 metri la larghezza complessiva delle golene da assegnare a questo fiume per l' espansione delle sue piene.

In effetti come risultava dallo esame di due grafici corrispondenti ad una stessa sezione del fiume ri-

levata nel suo tronco più regolare fra Brezza e Grazzanise, una prima volta con livello di magra a m. 9,108 ed un'altra volta in periodo di ordinaria piena con livello idrico a m. 10,52, in conseguenza del passaggio dello stato del fiume dalla magra alla piena suindicata, si erano verificate escavazioni di fondo dalla quota 7,35 alla quota 6,57 (cioè cm. 78). E perciò si ritenne che nella ipotesi (certo sfavorevolissima e non corrispondente alla realtà) che quando il fiume è a sezione piena con livello idrico alla quota 14,58 e cioè a ciglio di campagna e non si verificassero ulteriori escavazioni di fondo, si sarebbe avuto sempre una sezione idrica capace di una portata, che calcolata colla formola del Kutter, darebbe:

$$Q = 1835$$

Risultato assai prossimo ai 2000 metri cubi affermati come portata massima del Volturno, e non sarebbe stata ipotesi azzardata ammettere che, per le maggiori escavazioni di fondo (che al certo si verificano col livello idrico salito alla quota 14,50 da 10,52) tale massima portata poteva essere contenuta nella sezione dell'alveo.

Ma, anche non volendo ammettere ulteriori escavazioni di fondo, bastava considerare un superiore sopralzamento di soli m. 0,50 del detto livello di piena sulle golene di m. 30,00 ognuna, per ottenere con la stessa formola, e tenuto conto della nuova effettiva

sezione fluente, la portata di m.c. 2050, portata che di già risulta superiore alla massima assegnata.

Questi i concetti per determinnare, nel progetto del 1914, la portata e la sezione.

Perciò per quanto riguarda la portata massima, in mancanza di altre osservazioni, si ritenne che essa fosse di mc. 2000, in conformità di quanto è indicato nella carta idrografica d' Italia e da tutti gli autori e manuali di idraulica. E con ciò potrebbe sembrare autorevolmente stabilita la portata di massima piena del fiume Volturno.

Però siffatto risultato non è confortato da alcuna dimostrazione attendibile e perciò si è riesaminato quanto finora si è studiato sul Volturno, integrando, per quanto possibile, gli studi fatti con osservazioni eseguite durante l' anno 1919.

Si deve ritenere che la portata a cui si é innanzi fatto cenno può indicare il volume d'acqua delle piene di entità considerevole, ma che ordinariamente si verificano nel fiume, e non già di quelle straordinarie, le quali sono dovute a prolungate e forti precipitazioni di pioggia su tutto il bacino, a ritardo di afflusso alla foce ecc.

Difatti dal prospetto che riportiamo, con riferimento alle segnalazioni dell'idrometro di Capua, per il periodo che va dal 1893 al 1915, notiamo la seguente frequenza di piena :

Piccole piene da m. 2 a 3 sullo zero del-	
l' idrometro	n. 78
Piene ordinarie da m. 3 a m. 5, come sopra	„ 53
Grandi piene da m. 5 a m. 6, come sopra	„ 7
Piene eccezionali oltre i m. 6 come, sopra	„ 3

Si potrebbe, pertanto, argomentare che la portata innanzi indicata vada riferita alle piene ordinarie od anche alle grandi piene, ma non a quelle che indichiamo come assolutamente straordinarie od eccezionali.

Nel citato progetto, quindi, prudenzialmente, si tenne conto solo in misura limitata della escavazione di fondo e si considerò un franco nelle arginature di cm. 70.

Le arginature, difatti, debbono commisurarsi, per il caso in esame, alle piene di massima entità, non tanto per il movente agricolo, poichè, come dice il Turazza, « non bisogna preoccuparsi di quei casi, che, « replicandosi soltanto a lunghi intervalli di tempo, « debbono aversi in conto di infortuni accidentali che « colpiscono di tratto in tratto l'industria agricola » ma principalmente per garentire gl'importanti lavori eseguiti e da eseguire di bonifica e stradali e perchè lungo il corso d'acqua ricadono alcuni centri abitati, soggetti ad inondazioni durante le massime piene, i quali potrebbero risentire effetti disastrosi, qualora durante tali piene si determinassero svasamenti e conseguenti rotte.

Per siffatta precipua ragione, come sarà meglio detto in seguito, abbiamo ubicato le arginature in guisa

da non alterare sensibilmente le quote di pelo d'acqua raggiunte dalle massime piene predette, pur invadendo nelle arginature tutta la portata e prevedendo, altresì, la costruzione di speciali opere di difesa in corrispondenza degli abitati che sono bagnati dal fiume.

Uno studio sulla massima portata del fiume Volturno fu eseguito dal Collegio peritale costituito dai professori Milone e Ferrara della Scuola di applicazione di Napoli e dall'Ing. Belli, in occasione dell'importante dibattito giudiziario che l'Amministrazione delle Bonifiche ebbe a sostenere con la Ditta Chianese per i danni arrecati alle industrie agricole dalla piena straordinaria del 1890.

La maggioranza del Collegio seguì il seguente procedimento. Innanzi tutto venne applicata la formula del prof. Turazza

$$Q = \frac{3}{5} \frac{a}{n} \frac{S}{86400}$$

in cui

a é l'altezza di pioggia in n giorni consecutivi piovosi
 S la superficie del bacino

86400 il numero dei secondi in una giornata.

Da siffatta formula, a seconda che si considera un determinato numero di giorni piovosi e la corrispondente altezza di pioggia caduta, si hanno diversi valori di Q .

Così la portata risulta di mc. 2045, considerando un periodo di 3 giorni piovosi.

Invece, sostituendo in detta formula i dati relativi a 48 ore, 24 ore ed, infine, a 6 ore di massima pioggia, verificatasi in detta epoca, si hanno rispettivamente le portate di mc. 2651 ; 3993 e 5420.

Va considerato che la formula del Turazza dà la portata media del fiume durante la piena e non la portata *di colmo*.

La portata *di colmo* della piena è uguale alla portata media moltiplicata per un coefficiente, per determinare il quale, con sufficiente esattezza, occorrerebbe la conoscenza di molti elementi relativi al bacino che si considera, che invece non sono noti, perchè il Volturno, a differenza del Po e del Tevere, e come la più parte dei fiumi dell'Italia Meridionale, è uno dei meno studiati e di cui scarseggiano notizie esatte. Dal vario modo di applicazione della formula si sono ottenuti risultati diversi e propriamente da mc. 2045 a mc. 5420. Quest'ultimo valore però è erroneo, e non va considerato perchè il coefficiente di deflusso dato dal Turazza si riferisce ad n giorni e non ad ore. Quindi tale valore, se rappresenta la quantità di acqua caduta nel bacino in quel periodo di tempo, valutata mediamete a secondo, non dà la portata del fiume in quanto l'acqua caduta nel medesimo periodo di tempo, nelle parti più lontane del bacino, (linee *isoreocrone* più distanti) non raggiunge il tratto di fiume di massima portata contemporaneamente, o mentre vi defluisce ancora integralmente, l'acqua dovuta alla più in-

tensa precipitazione atmosferica e a tutta la restante parte al bacino stesso.

Altrettanto va ripetuto per il valore di mc. 3993 ottenuto per il periodo di 24 ore. Devesi quindi ritenere che il valore più rispondente al vero si avvicini, in più od in meno, a quello che si è ottenuto considerando il periodo di 48 ore, e cioè a mc. 2651.

Nella stessa occasione fu calcolata la portata con la formola del Possenti :

$$Q = \frac{ch}{l} \left(m + \frac{p}{3} \right)$$

ove m è la superficie montuosa del bacino imbrifero in chilometri quadrati.

P la superficie pianeggiante del bacino stesso, anche in chilometri quadrati.

h l'altezza della massima pioggia in 24 ore,

l la lunghezza del fiume dall'origine

c un coefficiente numerico compreso fra 700 ed 800.

La portata massima del Volturno, con tale formola, risultò di mc. 2430 circa, ammettendo, come ritiene il Valentini, di Kmq. 5229 la superficie della parte montuosa del bacino e di Kmq. 448 la parte pianeggiante.

La maggioranza del Collegio si convinse che le altre formole, fra cui quella dell'Jskiowski, non fossero applicabili, poichè, come osserva il Prof. Turazza, « è tutt'altro che facile l'attribuire per ogni caso gli

« esatti valori dei coefficienti, i quali, pur essendo di-
« stinti in molte speciali categorie, lasciano ancora
« troppa incertezza nella loro applicazione. E della
spessa opinione è l'illustre prof. Masoni.

Per il Volturno, come si è detto, le notizie sono scarse, e, quindi, la incertezza sarebbe tale da non far ritenere attendibili i risultati calcolati con altre formule.

La maggioranza dei periti, concludendo, affermava che il Volturno nella piena straordinaria del dicembre 1890, raggiunse una portata massima oscillante intorno ai 2500 metri cubi.

La minoranza, invece, sostenne che la portata fu più elevata. All'uopo fu istituito un calcolo diretto, basandolo sul concetto che nella zona permeabile del bacino venisse assorbito un terzo della quantità di acqua caduta su di essa zona e che la metà di tutta l'acqua restante si disperdesse per evaporazione e per altre ragioni. Tenendo conto di tali elementi per il maggior periodo di pioggia, che fu di sei ore, consegue una portata di mc. 4142. Questo risultato, però, raggiunto con criteri largamente approssimativi, non è così attendibile quanto alcuni di quelli finora esposti, il che appare ancora più evidente quando si consideri il tempo sensibilmente diverso che impiegano le acque che cadono nelle varie zone del bacino per attraversare lo stesso tratto di alveo.

Da quanto precede si deduce che dei due elementi di principale importanza che occorre conoscere per la risoluzione del problema impostato, uno, cioè l'escavazione di fondo durante le piene rilevanti, è

ignoto, anche in linea approssimativa, e l'altro, cioè la massima portata del fiume, in base ai risultati più attendibili finora noti, può ritenersi intorno ai 2500 metri cubi.

Senonchè, durante l'anno 1919, abbiamo eseguito delle osservazioni intese ad integrare gli studi già compiuti. Per siffatto scopo scegliemmo un tratto di fiume abbastanza regolare, lungo metri 600, poco a valle del ponte ferroviario della linea Napoli-Cassino-Roma, dove il corso d'acqua non riceve più affluenti nè scoli di campagna e prima della zona degli straripamenti.

Due piene di normale importanza si verificarono rispettivamente il 5 febbraio ed il 14 marzo, mentre durante il resto del periodo di osservazione il fiume conservò quasi sempre la sua portata di morbida invernale, il cui pelo d'acqua raggiunse in quell'anno, nella sezione presa in esame, la quota di 14, 45.

Con tali acque morbide invernali riscontrammo i seguenti elementi :

Profondità media della sezione idrica $P = 1,10$

Velocità massima superficiale . . . $V = 0,87$

(e quindi la velocità media, in linea di approssimazione può ritenersi $V_m = 0,87 \times 0,80 = 0,70$)

Sezione idrica $\omega = 132$ mq.

in conseguenza risulta la portata $Q = \omega V_m = mc: 92,400.$

Durante la piena del 5 febbraio 1919 il livello dell'acqua raggiunse nella sezione prescelta lungo il

tratto di osservazione la quota di m. 16,60 e gli elementi riscontrati o calcolati risultarono i seguenti:

$$P' = 3,40$$

$$V' = 1,54$$

$$V'_m = 1,54 \times 0,80 = 1,232$$

$$\omega' = \text{mq. } 405,60$$

$$Q' = \omega' V'_m = \text{mc. } 499,70$$

Nell'altra piena del 14 Marzo 1919 le acque raggiunsero la quota 15,50 e le osservazioni dettero i seguenti risultati:

$$P'' = 2,23$$

$$V'' = 1,05$$

$$V''_m = 1,05 \times 0,80 = 0,84$$

$$\omega'' = 269,40$$

$$Q'' = \omega'' V''_m = \text{mc. } 226,30$$

Innanzitutto risulta da quanto si è esposto che le escavazioni di fondo nelle due piene osservate sono state rispettivamente di cent. 15 e cent. 8 rispetto alla sezione di acque ordinarie.

Dippiù, se si applica la legge del Guglielmini, cioè dell'uguaglianza del rapporto delle velocità medie a quello delle radici delle altezze, si riscontra che essa legge si verifica pressochè rigorosamente. Ed in base a siffatto riscontro abbiamo applicato la legge medesima nei riguardi della sezione di acque ordinarie e di quella di massima piena straordinaria, che ebbe a

verificarsi nel 1915, quando le acque raggiunsero nella sezione in disamina una quota approssimativa di metri 20,60.

Nel tratto di fiume innanzi indicato la velocità superficiale massima fu di m. 2,70 circa.

Se quindi si pone

$$\frac{2,70 \times 0,80}{0,70} = V \frac{P'''}{1,10}$$

si ottiene $P''' = 10,45$

il che indica una escavazione media di fondo durante le massime piene di m. 3,20 sul fondo corrispondente alla portata ordinaria invernale. Siffatto risultato, per la sua entità, corrisponde a quanto si prevedeva e veniva segnalato fino dal 1914, ed, in linea di massima e quale media, può ritenersi attendibile.

Ottenuta, con siffatto procedimento, la profondità media durante la massima piena e conoscendo la larghezza, in m. 129 circa, che, in tale occasione, assunse la sezione idrica, si può, con approssimazione, calcolare la portata, la quale risulta pari a quasi mc. 2911. Inoltre, poichè è nota la pendenza della citata massima piena, pendenza, che, nel tratto in disamina, fu del 0,35 per mille circa, si può calcolare la portata anche con la formula del Kutter

$$u = k \sqrt{\frac{RI}{x}}$$

ove $k = \frac{1}{1 + \frac{y}{VR}}$

e nella quale

$$x = 23 + \frac{1}{\mu} + \frac{0,00115}{I} ; y = \mu \left(23 + \frac{0,00115}{I} \right)$$

se si assume μ eguale a 0,038, in considerazione della fitta vegetazione, fra cui spineti, siepi ecc. che fanno risentire su larghe zone, durante le piene, un forte attrito, risulta $K = 40,22$ e di conseguenza la velocità media eguale a 2,37 e la portata eguale a metri cubi 3190 circa.

Tali risultati non si differenziano di molto da quelli ottenuti col procedimento precedente.

In definitiva varia, evidentemente, il coefficiente di riduzione della velocità massima superficiale rispetto a quella media di tutta la massa fluente.

I risultati ottenuti sono superiori a quelli valutati dalla maggioranza del Collegio peritale relativi alla piena del dicembre 1890. Però occorre osservare che non sono con essi discordanti, poichè mentre l'idrometro di Capua segnò la quota massima di m. 6.50 in tale piena, in quella del gennaio 1915, invece, ed alla quale abbiamo riferito le nostre calcolazioni, raggiunse i m. 6.90.

In base ai risultati conseguiti potremmo ritenere la massima, portata di colmo del Volturno intorno ai 3000 mc. Però, per avere un maggior numero di elementi, da cui trarre le conclusioni che ci interessano, e per meglio utilizzare le poche osservazioni dirette che è stato possibile eseguire, abbiamo applicata la formula classica della parabola cubica del Guglielmini

$$Q = \alpha P^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

nella quale, in una prima approssimazione, abbiamo ritenuto applicabili le equazioni del regime uniforme, secondo le espressioni del Kutter.

Nella (1) $\alpha = K I \sqrt{T}$

che, risolta col valore di $K = 40,22$, precedentemente calcolato, dà $\alpha = 95,46$

e quindi la (1), per $P = 10,45$, ci dà la portata massima eguale a mc. 3220 circa.

Senonchè la formula del Guglielmini è troppo generica, perchè possa applicarsi per tutti i fiumi. La espressione ora calcolata fu trovata ammissibile da SCHNEBBELIE per la Mosa e dal prof. NAZZANI per gli stati di magra del Tevere.

Una formola di maggiore estensione può essere del tipo di quella del Guglielmini, lasciando come incognita anche l'esponente, così come è stato calcolato per altri fiumi.

Nel nostro caso la (1) assume la forma

$$Q = \alpha P_x \quad (2)$$

nella quale bisogna determinare α ed x .

In base alle osservazioni fatte avremo il seguente sistema di tre equazioni a due incognite :

$$(3) \quad 92,4 = \alpha \cdot 1,10 \cdot x$$

$$(4) \quad 499,7 = \alpha \cdot 3,40 \cdot x$$

$$(5) \quad 226,3 = \alpha \cdot 2,23 \cdot x$$

che, risolte a due a due, danno i seguenti tre sistemi di valori :

$$\text{per la (3) e la (4)} \quad x = 1,496 \quad . \quad . \quad . \quad \alpha = 80,14$$

$$\text{per la (4) e la (5)} \quad x = 1,268 \quad . \quad . \quad . \quad \alpha = 81,91$$

$$\text{per la (3) e la (5)} \quad x = 1,878 \quad . \quad . \quad . \quad \alpha = 50,17$$

Per conoscere l'entità degli errori, abbiamo sostituito i valori medi nei secondi membri delle (3), (4) e (5) ed abbiamo avuto :

$$70,74 \cdot 1,10 \cdot \overset{1,547}{\alpha} = 81,99 \text{ invece di } 92,40$$

$$70,74 \cdot 3,40 \cdot \overset{1,547}{\alpha} = 469,71 \text{ invece di } 499,70$$

$$70,74 \cdot 2,23 \cdot \overset{1,547}{\alpha} = 244,62 \text{ invece di } 226,30$$

Gli errori percentuali, quindi, risultano rispettivamente di — 11 o/o ; — 6 o/o ; + 8 o/o.

Riteniamo, pertanto, che, prudenzialmente il parametro debba aumentarsi del 5 0/10, e quindi risulta uguale a 74.28.

La (2) per il Volturmo potrebbe, adunque, assumere la forma :

$$Q = 74,28 P^{1,547}$$

e quindi, sostituendo in essa il valore di P, calcolato per la massima piena, si ha che questa risulta di mc. 2802.

I parametri ottenuti sono molto approssimativi, ma, con le limitate osservazioni che è stato possibile effettuare, non si sono potuti adottare sistemi più rigorosi.

Anzi quanto abbiamo finora esposto sia inizio e valga di guida per i successivi studi sperimentali.

Adunque tutte le calcolazioni per determinare la portata di piena del 1915, che superò quella del 1890, danno un risultato che si aggira intorno ai 3000 mc. e che assumiamo pel momento come portata massima del fiume.

Ottenuti in tal guisa, entro limiti di approssimazione praticamente ammissibili in linea di massima, i due elementi che occorre conoscere, e cioè escavazione di fondo e portata massima del fiume, abbiamo impostato un altro problema.

A quali distanze si dovranno mettere le arginature, perchè non vengano sensibilmente superate le quote

medie del pelo d'acqua che il fiume assume durante le massime piene?

In tal guisa possiamo approssimativamente stabilire, in relazione ad ogni pendenza ed alla sezione minima dell'alveo che il fiume presenta per ogni singola pendenza, la distanza da assegnare alle arginature perchè sia convogliata la massima piena.

Adotteremo la formula del Kutter innanzi indicata, e, per la speciale sagoma che assume la sezione, riterremo la sezione stessa suddivisa in tre parti e propriamente la parte media, comprendente l'alveo, e le due laterali in corrispondenza delle golene.

Per la sezione centrale al coefficiente n si è assegnato il valore 0,035 e per le sezioni laterali si è assegnato il valore 0.04, tenendo conto della forte resistenza che presentano al movimento delle acque, poichè, restando tali zone laterali allo asciutto per buona parte dell'anno, sono soggette a ricoprirsi di vegetazione spontanea e saranno anche parzialmente sottoposte a coltivazione erbacea.

Nel calcolo della portata di cui è capace la sezione centrale si è, prudenzialmente, considerato come perimetro bagnato anche la divisione fittizia con le zone laterali, le quali, in ogni modo, eserciteranno un'azione ritardatrice sui prossimi filetti liquidi della detta sezione centrale.

Per il fenomeno opposto non si è considerata tale divisione come perimetro bagnato nel calcolo delle sezioni laterali.

All'escavazione del fondo si è assegnato il valore

di m. 3.00, inferiore, cioè, a quello risultante dal calcolo. Tale valore prudenziale risulta maggiormente ammissibile quando si tenga presente che nelle sezioni minime dell'alveo, alle quali appunto ci riferiamo, le escavazioni saranno maggiori di quella calcolata, poichè in esse l'acqua avrà una velocità maggiore di quella assunta nel calcolo predetto.

Nel tratto dai giardini di Capua (Km. 1.000 a valle del ponte della ferrovia Napoli-Cassino-Roma) ai pressi di Grazzanise, e propriamente all'incile del diversivo abbandonato per la bonifica della campagna Vicana (progr. Km. 15,100), la pendenza media risulta del 0.358 per mille. La quota presso Grazzanise del pelo d'acqua durante la grande piena del 1915, in m. 15.34, ci è stata anche riconfermata dal personale del Consorzio per la bonifica della predetta Campagna Vicana, che, in quell'epoca, registrava appunto le quote allo incile del diversivo.

Se alla sezione che rappresenta la minima area che l'alveo del fiume assume durante le morbide invernali nel tratto in disamina applichiamo tutti gli elementi innanzi indicati, in relazione alla portata di mc. 3000, ricaviamo un'ampiezza totale delle sole due golenè di m. 240.

Ora in tale tratto le arginature che si prevedono seguiranno grossolanamente la direttrice del fiume, lasciando in golena tutte le lunate che esso forma, e quindi la distanza fra gli argini che, recondo il calcolo fatto, dovrebbe essere al minimo di m. $240 + 87$ (lar-

ghezza dell'alveo) = m. 327 potrà ovunque superare siffatto minimo.

Prima di procedere all'analogo calcolo pel tratto successivo del fiume, ove il pelo d'acqua si dispone con altra pendenza, é opportuno riassumere alcune considerazioni che risultano dalle condizioni del fiume e dalla disposizione delle arginature.

Ricordiamo che gli straripamenti nelle grandi piene cominciano a verificarsi a circa Km. 2.000 a valle di Capua, e propriamente sulla destra presso la tenuta S. Lorenzo.

Le acque fuoruscite, per le speciali condizioni di pendenza della campagna, non corrono pressochè parallelamente al filone del fiume, ma, senz'altro, si allontanano dal filone stesso e vanno a sfociare a mare a mezzo di altri alvei e propriamente, come si è già detto in precedenza, a mezzo della R. Agnena in destra ed a mezzo dei RR. Lagni in sinistra, i quali sono i naturali thalweg delle campagne laterali al Voltorno.

Le arginature, quindi, non rappresenteranno un restringimento di sezione rispetto alla portata che attualmente vi defluisce, ma determineranno una sezione capace di convogliare la portata massima del fiume, una parte della quale presentemente sfiora dalle sponde ed ha un recapito diverso dal fiume stesso.

Se, quindi, consideriamo il tratto di fiume non arginato a monte di quello ove avranno inizio le arginature, si avrà nel primo, che presenta una larghezza piú limitata, probabilmente, un rigurgito di depressione.

Altra osservazione è che le acque che correranno

in golena non seguiranno un percorso parallelo alle acque dell'alveo, ma percorreranno, grossolanamente, le corde delle golene con cadenti maggiori di quelle calcolate, dando luogo ad anomalie ed a perturbazioni del moto dell'acqua per il contrasto di direzione ed a perdite diverse di forze vive che potranno essere vinte appunto dal maggior carico disponibile lungo le direzioni percorse. Inoltre le quote che assumiamo per le pendenze sono solo approssimative in molti casi. Esse quindi vanno adottate in mancanza di elementi più sicuri, e, nello stesso tempo, perchè il presente studio serve, più di ogni altro, quale inizio e guida a studi successivi dello stesso problema.

Comunque, l'assieme dei fenomeni innanzi indicati, che sfugge a qualsiasi analisi rigorosa, riteniamo non possa apportare, nel complesso di elementi compensatori, pregiudizio alla sicurezza degli argini con le modalità di costruzione che in seguito saranno indicate, le quali consentono un margine largo di sicurezza anche per i vari rigurgiti che si determineranno.

Il secondo tratto comprende le arginature già esistenti da Brezza-Grazzanise a Canello Arnone e cioè dalla progressiva Km. 15.000 alla progressiva 28.000.

La pendenza ivi risulta di 0.383 per mille.

In base agli elementi innanzi indicati ed in relazione alla sezione minima di alveo, l'ampiezza totale di golena risulta di m. 446 e la distanza fra le arginature di m. 553.

Siffatta distanza nell'arginatura già costruita varia da un massimo di m. 1250 ad un minimo di m. 300.

Occorre quindi modificare l'andamento dell'argine sinistro esistente in corrispondenza del Km. 25, con opportuni raccordi, allo scopo di conseguire la cennata distanza, prudenzialmente calcolata.

Il terzo tratto va dal Km. 28 (in corrispondenza di Arnone) al Km. 36, e cioè a Km. 5 a valle del diversivo di colmata in sinistra.

La pendenza è del 0.50 per mille.

Come vedesi le pendenze sono in aumento, il che fa dubitare dell'esattezza delle quote registrate nelle grandi piene.

Questo tratto presenta le maggiori difficoltà e merita il più oculato esame, principalmente in sede di studio di progetto definitivo, a causa della strozzatura che è determinata al fiume dagli abitati di Arnone e Canello, ricadenti l'uno di fronte all'altro sulle sponde opposte.

E ad aumentare le difficoltà contribuisce la presenza di due ponti, di cui uno in corrispondenza dei due abitati e l'altro a circa Km. 0.500 a valle, costruito per il servizio della nuova linea ferroviaria direttissima Roma-Napoli.

Prima di ogni altro osserviamo che la corrente proveniente dai tratti superiori del fiume arginato batte in breccia l'abitato di Arnone. L'aumento sensibile di portata, che in tal punto avrà il fiume nelle grandi piene, potrà determinare pericolose corrosioni e sovralzamenti d'acqua. Necessita adottare un doppio ordine di provvedimenti e cioè spostare l'ultima parte dell'esistente argine destro in guisa da invitare le acque

in golena a deviare dalla direzione verso Arnone e proteggere con muro di difesa tutto l' assieme dello abitato, fondando a quota inferiore a quella che possono raggiungere ivi le escavazioni di fondo.

Premessa tale considerazione, si fa presente che nel tratto in disamina le calcolazioni col sistema finora adottato, in relazione alla sezione minima nel tratto stesso, stabiliscono un'ampiezza di golena complessiva di m. 364 e ad una distanza fra gli argini di m. 463.

Tale distanza libera non esiste in corrispondenza degli abitati di Canello ed Arnone, che stringono in un nodo il letto del fiume.

Senonchè occorre, a questo punto, considerare che, in relazione ad ogni singola sezione del fiume è possibile calcolare la corrispondente ampiezza di golena e la distanza fra gli argini.

Abbiamo finora, considerata per ogni pendenza la minima sezione dell'alveo, onde ottenere il massimo di ampiezza di golena, che invece poi abbiamo assunto praticamente come minimo di ampiezza stessa.

Fra gli abitati di Canello ed Arnone l'ampiezza di golena risulta di m. 126.

Questa distanza si ha libera solo per alcuni tratti.

Siffatta sfavorevole constatazione, aggiunta alla considerazione dei rigurgiti prodotti dalle pile dei ponti ed alla eventualità che, per cause non suscettibili di esatta previsione, possa non verificarsi interamente la escavazione di fondo nella misura che verrà meglio prevista, determina la necessità di garentire, con opere idonee, la incolumità degli abitati, i quali,

diversamente, potrebbero risentire effetti disastrosi dalle piene, che ora esondano nei tratti a monte e che, in seguito alla costruzione delle arginature, saranno integralmente convogliate ed addotte fino agli abitati predetti.

E riteniamo che il provvedimento da adottare sia la costruzione di muri di difesa aventi l'altezza sufficiente a contenere ogni sopralzamento di acqua, a loro volta garantiti, ove si avvicinano alle sponde, da opere in sasso sciolto e di rivestimento, come sarà detto in seguito.

Per il quarto tratto, che va dal Km. 36 al Km. 43,300 presso l'abitato di Castelvoturno, in relazione alla sezione minima ed alla pendenza del 0.0053, l'ampiezza complessiva delle golene risulta di m. 180 e la distanza fra gli argini di m. 310.

Premesso quanto abbiamo esposto, in relazione alla distanza fra gli argini, descriveremo ora brevemente l'andamento di massima previsto per gli argini stessi, i quali, ove è stato possibile, seguono il tracciato di quelli esistenti.

Il nuovo argine in destra si inizia a circa m. 1500 da Capua, innestandosi a m. 750 a valle del passaggio a livello della ferrovia Roma-Cassino-Napoli con la provinciale che conduce a Brezza.

L'argine segue l'andamento della via campestre denominata Cannella, che serve di disimpegno alla località Fiume Morto, la quale presenta la pendenza verso fiume, di guisa che occorre aprire un fosso di scolo

dalla parte esterna dell'argine per le campagne esterne alla golena.

Alla contrada Pagliara, ove il fiume presenta una convessità in destra, il nuovo argine s'innesta ad un argine privato esistente e lo segue senz'altro, quasi con unico rettilineo, fino all'abitato di Brezza, lasciando in golena le estese tenute denominate S. Clemente, Scanzo e Votapastore, le quali, per l'esistenza dell'argine predetto, già si trovano nella zona in golena.

Questo tratto di argine sarà fiancheggiato da due controfossi. Quello in destra serve di prolungamento al controfosso innanzi indicato, e che proviene dal tratto montano dell'argine, portando a scaricare le acque nel canale Valica di Brezza, che è tributario della Agnena; e quello sinistro servirà di scolo alle tenute lasciate in golena, le quali presentano un leggiero declivio verso l'argine. Tale fosso sinistro avrà lo sbocco nel Volturmo poco a monte di Brezza. Il tratto di argine ora descritto dall'inizio fino a Brezza lungo circa Km. 6.500 avrà sei coppie di rampe di accesso per il disimpegno dei terreni lasciati in golena.

Nello stesso tratto di fiume, in sinistra, il nuovo argine seguirà completamente l'andamento dell'argine esistente, costruito da tempo remoto dall'Amministrazione delle bonifiche, con opportuna sistemazione.

L'argine ha origine nella località denominata San Vito, e propriamente presso la foresta del Real Tenuta di Carditello; procede sempre a nord della provinciale Capua - Grazzanise e termina ai primi fabbricati di Grazzanise.

I fossi di scolo saranno quelli esistenti convenientemente ricavati ed i disimpegni saranno in numero di sette.

Nel tratto di fiume fra Brezza-Grazzanise e Canello-Arnone, come già si è detto, l'arginatura è al completo. Occorre solo, per le ragioni innanzi indicate, rettificare l'argine destro alla località Polletrara. Per tali rettifiche occorrono tre ponticelli per la continuità di strade campestre. Pel rimanente le condizioni esistenti non vengono mutate.

Nell'ultimo tratto di fiume fra Canello-Arnone e Castelvoturno l'argine destro, per una prima parte, e propriamente fino a circa tre chilometri a valle del diversivo di colmata, segue l'argine esistente e poi, con andamento pressochè frontale al fiume, raggiunge il Km. 38, ove chiude in golena una limitata zona, che, per le sue condizioni altimetriche, non potrebbe avere un facile scolo, qualora dovesse ricadere esternamente all'argine.

Nella seconda parte l'argine segue l'andamento del fiume fino alle dune marine.

Per lo scolo delle campagne si fa notare che, da Canello al diversivo in destra, non vengono alterate le esistenti condizioni; per tutto il successivo tratto vallivo, lungo il quale una parte della campagna esterna presenta una lieve pendenza verso l'argine, sarà ricavato un fossetto di scolo, il quale avrà per recapito il canale Bartolotti, che a sua volta scarica le acque nella Regia Agnena.

Per il tratto di argine in disamina sarà necessario

costruire un solo disimpegno in corrispondenza della predetta zona, che sarà lasciata in golena, perchè le altre zone potranno essere definitivamente espropriate.

Inoltre dal Km. 37.000, e propriamente dallo stradone De Curtis sino a Castelvoturno resta inclusa in golena una esistente strada di campagna, la quale dovrà essere ricostruita esternamente all'argine, ad eccezione del tratto a nord della zona lasciata in golena e per la lunghezza di circa Km. 1.350, dove sarà possibile lasciare la strada esistente fuori golena.

Il tratto di argine in sinistra da Arnone a Castelvoturno per i primi tre chilometri segue l'andamento dell'argine esistente e raggiunge così il Km. 32, dove continua lungo la corda della lunata denominata Parco Fiume.

Indi procede con andamento frontale al fiume fino al Km. 38, innestandosi all'argine esistente che verrà utilizzato, salvo le opportune rettifiche e sistemazioni, fino all'abitato di Castelvoturno. A valle di Castelvoturno le arginature saranno proseguite per circa un Kmetro. L'argine destro s'innesterà alle dune marine e quello sinistro al rilevato arginale del canale Fossa Piena.

I fossetti di scolo da Arnone fino al diversivo in sinistra resteranno immutati, poichè le attuali condizioni non subiranno modifiche di sorta.

Dal diversivo fino a Castelvoturno si aprirà un fosso in sinistra che avrà il suo sbocco nel canale Macedonio.

Quanto ai disimpegni occorrerà costruirne due in

corrispondenza della tenuta Le Pozzelle ed uno alla altezza della tenuta Parco Fiume.

Tutti i fossi di scolo ai quali si è fatto menzione saranno aperti in modo che la distanza dal loro ciglio verso l'argine al piede dell'argine stesso sarà in media uguale ad una volta e mezzo la profondità del fosso.

Il terreno di risulta dagli scavi sarà impiegato per la costruzione degli argini, i quali avranno il piano di cresta largo m. 2.50, onde consentire una rapida ed efficace sorveglianza da parte del personale che vi sarà addetto. Le scarpate avranno l'inclinazione di uno di altezza su 1.25 di base, cioè avranno la sagoma simile a quella degli argini esistenti, i quali hanno corrisposto alla loro funzione.

L'altezza degli argini sarà tale da consentire un franco di 0.70 sul pelo di massima piena che il fiume presenterà in corrispondenza dell'argine stesso.

Siffatta altezza sarà aumentata dove si prevede un sicuro costipamento del suolo per effetto della costruzione dell'argine (in alcune zone si riscontra la tipica formazione del terreno a *cuora*).

Quanto alle opere d'arte, oltre diversi ponticelli, necessitano le seguenti altre :

a) un muro di difesa all'abitato di Arnone, in corrispondenza della sponda del fiume che viene battuta quasi normalmente dalla corrente. Tale muro dovrà avere le fondazioni a quota sufficiente per essere garantito da ogni eventuale scalzamento, e propriamente, in linea preliminare, a circa un metro sul medio mare.

Pertanto, per le considerazioni innanzi svolte, l'altezza del manufatto dovrà superare di poco i 10 metri.

Il muro sarà costruito a distanza dalla sponda, ma poichè è probabile che, col tempo, la sua faccia verso il fiume venga, per effetto delle corrosioni, a contatto col fiume stesso, il suo spessore dovrà calcolarsi tenendo conto che potrà funzionare anche come un muro di sostegno di terrapieno, nelle cui condizioni esso si troverà in periodo di magra;

b) in corrispondenza degli abitati di Canello ed Arnone, ove l'argine ricade a distanza della sponda, all'argine può sostituirsi un muro, onde raggiungere un maggior grado di sicurezza ed occupare nel contempo il minimo delle golene disponibili;

c) nei tratti, invece, ove il muro deve costruirsi in vicinanza delle sponde ed ove le sponde presentano la forma di botte corrose, in corrispondenza sempre degli abitati (Brezza, Canello, Arnone e Castelvoturno) dovrebbero eseguirsi delle difese frontali in sasso sciolto a somiglianza di quelle già esistenti, le quali, al pari di quelle eseguite lungo il Tevere, hanno dato risultati soddisfacenti.

Tali sassaie verrebbero formate da piccoli scogli nella parte inferiore con scarpa di 1.50 di base per uno di altezza e banchina di m. 2.50, affiorante per m. 1.00 sulle magre estive, sulla quale banchina poggerrebbe un muro a secco di rivestimento della sponda fino al suo ciglio di campagna, con pendenza di 45° e spessore medio di m. 0.60.

Poichè, poi, pel Volturmo non deve provvedersi

alla navigazione ed il suo delta è abbastanza stabile, non è il caso, pel momento, di preoccuparsi del problema della foce.

Invece uno studio speciale occorrerà per esaminare le sezioni ristrette determinate dalle luci dei due ponti esistenti, onde stabilire se sia necessario sopralzare le travate ed aprire altre luci sussidiarie, così come è stato progettato pel ponte del Diavolo sul fiume Sele, lungo la strada nazionale Salerno-Sapri per la bonifica di quella plaga e per l'arginatura del fiume. Quanto all'esecuzione delle arginature del Volturno, si fa presente che le cave di proprietà dell'Amministrazione saranno le zone in golena per le quali si provvederà alla espropriazione definitiva. Tali zone sono rappresentate solo da quelle golene di limitata ampiezza e nelle quali la proprietà è frazionata. In tali condizioni è conveniente provvedere alla espropriazione definitiva, poichè la spesa per i numerosi disimpegni potrebbe anche essere superiore a quella occorrente per l'espropriazione stessa.

Per le golene di grande ampiezza si provvederà con una indennità una volta tanto per servitù di golena. Ciò sempre quando tale servitù non esiste, ma venga a crearsi con le nuove arginature.

Per lo studio del progetto definitivo è opportuno riferirsi ai seguenti caposaldi :

a) Zero all'idrometro di Capua . . . m.	1.46
b) Soglia Chiesa di Brezza „	15.27
c) Platea ponte Tura diversivo Vicano „	7.22
d) Soglia casa Tessitore in Canello „	8.54
e) Soglia casotto ponte Tura diver-	
sivo destro „	8.94
f) Zero dell'idrometro al ponte di-	
versivo sinistro „	2.66
g) Zero idrometro di Castelvoturno „	0.60
h) Soglia del cancello della Chiesa	
di Castelvoturno „	2.50

Gli elementi esposti sono sufficienti come guida e direttiva per completare lo studio complesso dell'arginatura del Volturno, nel suo infimo tratto, ove le esondazioni arrecano danni rilevanti alle campagne ed alle opere stradali e di bonifica.

I risultati definitivi, del resto, non potranno che raggiungere solo quei limiti di sicurezza che la natura del problema presenta, secondo le più recenti pubblicazioni di idraulica fluviale.

Ma è indispensabile, ormai, provvedere alla sistemazione del basso corso del Volturno per la grande influenza che essa eserciterà su tutta la vita economica di una plaga rigogliosa ed estesa ricadente alle porte della metropoli del mezzogiorno d'Italia.