

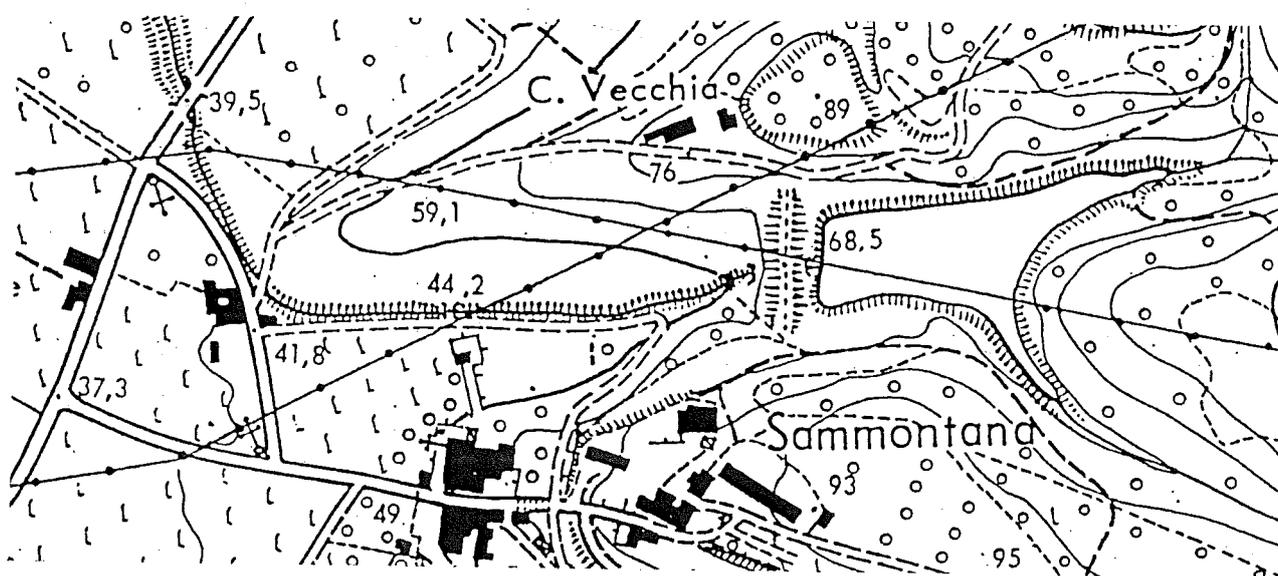
PROVINCIA DI FIRENZE
COMUNE DI MONTELUPO FIORENTINO

PROGETTO:

STUDIO DELL'ONDA DI SOMMERSIONE
CONSEQUENTE AL CROLLO
DELLA DIGA DI SAMMONTANA

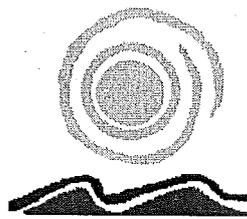
COMMITTENTE:

CONTI M. ED A. DZIEDUSZYCKI



oggetto:

RELAZIONE TECNICA



STUDIO ASSOCIATO
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE
ing. C.Lubello-ing. F.Preti-ing. D.Settesoldi

Progetto di:

Ing. Claudio Lubello
Ing. Lorenzo Conti

data
GENNAIO 1997

INVASO DI SAMMONTANA

Montelupo Fiorentino (FI)

SIMULAZIONE IDRAULICA DEL CROLLO DIGA

RELAZIONE TECNICA

Committente:

Conti M.e A. Dzeduszycki

Progettisti:

Ing. Claudio Lubello

Ing. Lorenzo Conti



Sommario

1. INTRODUZIONE	3
2. IPOTESI GENERALI DI STUDIO	4
3. DESCRIZIONE DELL'INVASO E MORFOLOGIA DEL LUOGO	6
4. IL CROLLO DIGA	8
4.1 Il crollo delle dighe in terra	8
4.2 Valutazione della portata di picco attraverso i modelli semplificati.....	9
4.3 Valutazione idrogramma di piena attraverso il codice DAMBRK	12
5. SIMULAZIONE DELL'ONDA DI PIENA	14
5.1 Tratto di studio	15
6. RISULTATI DELL'ELABORAZIONE	16
6.1 Massimi livelli idrometrici.....	16
6.2 Carichi totali.....	16
6.3 Portata di picco	16
6.4 Tempi di picco	16
6.5 Velocità massime	17
6.6 Aree allagate	17
6.7 Aree interessate da erosione o deposito di sedimenti	19



1. Introduzione

Il D.P.R. del 24 gennaio 1991, n.85- art.24, comma 6, lettera C, impone che per ogni diga sia realizzato uno studio delle caratteristiche di un'onda di piena dovuta a manovre degli organi di scarico o ad ipotetico collasso degli sbarramenti.

Per invasi di ridotte dimensioni la portata massima scaricabile attraverso gli organi di regolazione di fondo risulta essere, spesso, di gran lunga inferiore a quella ipotizzabile per il crollo dello sbarramento. Nel caso della diga di Sammontana questa non supera 0.5 mc/s, e quindi il problema dello studio della propagazione della piena è praticamente inesistente, in quanto il corso d'acqua ricevente a valle è largamente in grado di smaltire portate del genere.

Analogha considerazione non può essere fatta, evidentemente, per l'onda di piena associata ad un collasso dello sbarramento, dal momento che le portate che si determinano durante l'evento, possono risultare anche maggiori di un ordine di grandezza rispetto a quelle calcolate con tempi di ritorno centenari dovute agli apporti del bacino afferente.

Come è facile intuire le maggiori differenze tra portate di crollo e portate massime dovute agli apporti del bacino si hanno nel caso in cui quest'ultimi siano di ridotte dimensioni in rapporto alla volumetria dell'invaso.

E' quindi evidente quanto sia importante prevedere gli effetti sul territorio circostante del passaggio di un'onda di piena dovuta al crollo della diga, in modo da poter individuare quali siano le aree a maggior rischio di esondazione e prevedere gli effetti che in alcuni casi potrebbero risultare disastrosi per cose e persone.



2. Ipotesi generali di studio

Il legislatore ha fornito una serie di raccomandazioni sulla compilazione dell'elaborato tecnico da produrre per rendere esauriente la conoscenza degli effetti dovuti al crollo diga.

Innanzitutto è necessario procedere allo studio delle caratteristiche principali del bacino imbrifero, dell'invaso e dello sbarramento oggetto dello studio.

Come già accennato nell'introduzione si ometterà lo studio della piena causata dalle regolazione degli scarichi di fondo, sicuramente trascurabile. Infatti sulla base del rilievo eseguito, lo sbarramento sul borro di Sammontana è in grado di far defluire una portata massima dagli scarichi di fondo di circa 0.5 mc/s.

Venendo al problema del crollo questo, in una diga in materiali sciolti, avviene sempre in maniera parziale e progressiva.

La condizione di rottura si può ipotizzare che avvenga in concomitanza di una piena di carattere eccezionale non smaltita dagli organi di scarico, con la quale si abbia il riempimento del serbatoio ed il sormonto del coronamento.

Le portate in uscita dagli organi di scarico superficiali possono essere determinate in funzione del livello del pelo libero nell'invaso.

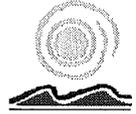
Nelle simulazioni si considera, comunque, una portata iniziale in uscita dall'invaso per innescare il processo di calcolo, che contiene il possibile deflusso proveniente dagli scarichi di fondo e dall'iniziale tracimazione.

La ricostruzione dell'idrogramma in uscita viene compiuta attraverso un modello numerico che tiene conto delle ipotesi di rottura e di interazione fra volume invasato e breccia formata. Tale codice (The News DAMBRK model) è stato sviluppato negli Stati Uniti da D. L. Fread (1988) per il Department of Commerce, ed è considerato attualmente uno dei più affidabili e testati di quelli esistenti in commercio, come indicato nel rapporto "*Valutazione delle onde di piena da rottura di dighe*" edito dal C.N.R., Gruppo difesa dalle catastrofi idrogeologiche, Roma 1989.

Tali risultati numerici sono stati confrontati con le indicazioni date dalle relazioni sperimentali proposte in letteratura e provenienti dallo studio statistico di casi reali di crollo diga.

La propagazione dell'onda di piena in moto vario nel tratto di valle è stata simulata mediante il precedente codice, che fornisce i principali parametri idraulici associati al fenomeno in corrispondenza delle sezioni fornite in fase di input.

Le informazioni relative alle aree a valle dell'invaso sono fornite dalla cartografia 1:25000, per quanto riguarda un quadro generale di conoscenza delle possibili zone interessate alla propagazione della piena, e dalla cartografia 1:10000 e 1:2000 per l'acquisizione dei dati necessari alla simulazione numerica.



La Normativa prevede che il tratto d'alveo sul quale viene effettuata la verifica numerica si estenda fino al punto in cui le portate di piena sono simili a quelle naturali previste dai piani di previsione e prevenzione, o in mancanza di questi, alla portata con tempo di ritorno pari a 500 anni. Nel nostro caso l'onda di piena, tranne un breve tratto iniziale, non segue il percorso dell'alveo del borro di Sammontana, essendo questi assolutamente esiguo in confronto alla piena che si determina, ma si produce l'allagamento dell'area alluvionale situata a valle dello sbarramento, da questa l'acqua defluisce tramite i fossi di scolo presenti nella rete drenante con portate che non determinano esondazioni significative. Lo stesso borro di Sammontana, essendo pensile nell'area di pianura, viene interessato da portate comunque contenute in alveo.

In allegato alla relazione tecnica sono riportati i risultati ottenuti attraverso le elaborazioni numeriche (rappresentazione delle aree allagabili, involuipi delle massime altezze idriche, dei carichi totali, dei tempi di arrivo al colmo, della velocità della corrente e delle massime portate defluenti).



3. Descrizione dell'invaso e morfologia del luogo.

L'invaso di Sammontana si trova nel comune di Montelupo Fiorentino, nei pressi dell'abitato di Sammontana, sulle colline che delimitano ad est la pianura alluvionale dell'Arno in cui sorge l'abitato di Empoli, vedi tavola 1.

Lo sbarramento è stato realizzato sul Rio di Sammontana alla confluenza con il Borro Pianacci, in una piccola vallata delimitata in destra da un crinale avente in quel punto un'altezza di 89 m s.l.m., ed in sinistra da uno a quota 93 m s.l.m..

Le grandezze principali dell'invaso sono le seguenti:

- 68.4 m s.l.m. Quota del coronamento
- 55.8 m s.l.m. Quota del fondo dell'invaso
- 50.0 m s.l.m. Quota del piede esterno sbarramento
- 80 m Larghezza sbarramento
- 0.93 Km² Bacino imbrifero sotteso
- 28.00 mc/s Portata massima con tempo di ritorno di 1500 anni
- 200 mm Diametro scaricatore di fondo
- 0.50 mc/s Portata massima in uscita dallo scaricatore di fondo
- 5.50 m Larghezza dello scaricatore di superficie
- 67.10 m Quota della soglia dello scaricatore di superficie
- 1:2.35 Pendenza paramento di valle
- 1:2.50 Pendenza paramento di monte
- 150.000 mc Volume invasato alla soglia dello sfioratore
- 162.500 mc Valore invasato al coronamento

In figura 1 e 2 sono riportate le curve altezza della diga - volume invasato e le portate in uscita dallo scaricatore di superficie.

Immediatamente a valle della diga è presente un cimitero che per dimensioni e posizione occupa parte della sezione utile, vedi foto 1.

L'abitato di Sammontana si trova sul crinale sinistro della valle fra le quote di 93 m s.l.m. e 49 m s.l.m., vedi foto 2.

La vallata si estende per una lunghezza di circa 280 m prima di immettersi in un'ampia area pianeggiante. La larghezza sul fondo varia dai circa 20 m in corrispondenza dell'invaso ai 180 m nel tratto terminale.

Lungo questo tratto il Rio di Sammontana scorre a fianco di una strada sterrata, la cui sede si trova ad una quota inferiore di circa 1.00 m dal piano campagna, fino a raggiungere un modesto complesso colonico.

All'uscita della vallata viene arginato ed assume una direzione sud-nord. L'altezza degli argini del Rio di Sammontana variano da 1.00 m iniziali, vedi foto 3 e 4, ai circa 3.00 m in corrispondenza del rilevato della superstrada Fi-Li.



L'area pianeggiante in cui scorre il Rio di Sammontana è delimitata a nord dalla superstrada Fi-Li; ad est e sud-est dalle colline; ad ovest sud-ovest dagli argini del Rio Grande, vedi tavola 2.

Questa area viene idraulicamente suddivisa dalle arginature del torrente in due distinte zone, le quali sono collegate per mezzo di fossi di scolo allo stesso Rio di Sammontana o ai canali di Bonifica posti a nord del rilevato della superstrada.

Le due aree degradano in direzione sud - nord passando da 40 m s.l.m. ai 28 s.l.m., (foto 5 - 7).

La zona pianeggiante in riva destra è parzialmente occupata da edifici industriali e costruzioni civili.

Quella in riva sinistra è ad uso agricolo ed è collegata con le aree poste oltre il rilevato della superstrada e della ferrovia attraverso due sottopassi, larghi circa 3.00 m., vedi foto 8 - 11.



4. Il crollo Diga

Il crollo di uno sbarramento di un corso d'acqua e gli effetti dovuti alla propagazione dell'onda di piena all'interno dell'asta fluviale, possono essere studiati separatamente.

I fenomeni fisici associati ai due eventi, sono infatti, in prima approssimazione, indipendenti l'uno dall'altro. Tale ipotesi può essere attendibilmente verificata qualora la morfologia del luogo presenti pendenze piuttosto accentuate nel tratto immediatamente a valle dello sbarramento, come nel caso oggetto dello studio, per cui la propagazione dell'onda di piena avviene in corrente veloce.

Si possono così distinguere i due eventi:

- a) Collasso dello sbarramento e conseguente idrogramma di piena;
- b) Propagazione nell'alveo di valle dell'onda di piena.

La simulazione dei due fenomeni è stata fatta adottando modelli matematici semplificati e numerici citati in precedenza.

Con i primi è stata fatta una stima della portata di picco e dei tempi di demolizione dello sbarramento, con i secondi è stato simulato l'idrogramma in uscita dall'invaso e la propagazione della piena.

4.1 Il crollo delle dighe in terra

La fenomenologia associata al crollo di una diga in terra, presenta caratteristiche completamente diverse da quelle associate al crollo di dighe in muratura, a gravità o ad arco.

Le caratteristiche costruttive di queste ultime ed i materiali impiegati, come ad esempio il calcestruzzo armato, conferiscono rigidità e monoliticità all'intera struttura o a parti di essa. In tal caso il crollo dello sbarramento avviene in tempi tali da poterlo considerare istantaneo. L'onda di piena conseguente ha il picco di portata esattamente nell'istante iniziale, quando la differenza di quota fra il battente del pelo libero a monte dello sbarramento ed il fondo della breccia è massimo.

Il collasso di una diga in terra può invece avvenire in due modi differenti:

- Sormonto,
- Sifonamento.

Nel primo caso lo sfioratore di emergenza si trova nell'impossibilità di smaltire la portata in arrivo dal bacino di monte, come ad esempio può avvenire in concomitanza di eccezionali eventi di piena, per cui il livello nel serbatoio aumenta fino a sormontare il coronamento della diga. La lama d'acqua tracimante lo sbarramento inizia quindi ad erodere il paramento di valle ed il coronamento.



La tracimazione dello sbarramento inizialmente provoca una portata in uscita paragonabile a quella in arrivo da monte dell'invaso, se non addirittura minore grazie all'effetto di laminazione, nel momento in cui l'erosione del paramento inizia ad interessare anche il paramento di monte si ha una progressiva diminuzione della quota del coronamento. Al diminuire della quota del coronamento, aumenta il battente del pelo libero all'interno del serbatoio e di conseguenza anche la portata in uscita. Si può quindi facilmente comprendere che il processo che si stabilisce presenta carattere di irreversibilità per cui il fenomeno progredisce fintantoché non si stabilisce una condizione di equilibrio fra capacità erosiva della corrente tracimante e sezione dello sbarramento.

Il raggiungimento della condizione di equilibrio può avvenire con il fondo della breccia ad una quota superiore a quella del fondo dell'invaso, qualora si esaurisca la capacità erosiva della portata tracimante, ad esempio quando il volume dell'invaso è sufficientemente piccolo da esaurire in tempi brevissimi. Se invece il volume invasato è molto grande, la breccia può spingersi anche al di sotto della quota minima del bacino fino a raggiungere la quota del piede di valle dello sbarramento.

L'idrogramma in uscita dall'invaso sarà funzione del battente esistente fra pelo libero e fondo della breccia. E' evidente che il primo dipenderà direttamente dalla portata in uscita e dalla curva altezze - volumi caratteristica del serbatoio, mentre dimensioni e forma della breccia dipenderanno da numerosi parametri quali ad esempio la stessa portata in uscita, le dimensioni della sezione dello sbarramento ed il materiale di cui questo è costituito.

Il crollo dovuto a sifonamento è causato da fenomeni localizzati di filtrazione all'interno dello sbarramento in materiali sciolti in punti di particolare vulnerabilità. Il crollo può quindi non essere associato ad un evento piovoso di particolare intensità, ma a problemi insiti nella struttura dell'opera.

La portata fuoriuscita inizialmente è generalmente bassa, ma aumenta con l'incremento dell'erosione del cunicolo sede della filtrazione. Il progressivo allargarsi del cunicolo è in grado di provocare il collasso della struttura, che si realizza con un improvviso cedimento del coronamento dello sbarramento. Da quell'istante in poi l'evoluzione del crollo procede esattamente come nel caso di sormonto.

4.2 Valutazione della portata di picco attraverso i modelli semplificati

Lo studio dell'idrogramma in uscita dall'invaso, è stato fatto in prima analisi valutando la portata di picco e la durata dell'idrogramma di piena, attraverso una serie di relazioni sperimentali proposte da vari autori.

Questi modelli scaturiscono dall'analisi dei numerosi casi descritti in letteratura di crollo di dighe in terra, e mettono in funzione portata di picco e tempi di demolizione con le caratteristiche dell'invaso e dello sbarramento.

Qui di seguito vengono riportate le grandezze di input e di output delle relazioni utilizzate:



Parametri di input:

Vw (mc)	Volume d'acqua fuoriuscito
h (m)	Differenza fra la quota iniziale del p.l. ed il fondo della breccia
H (m)	Altezza diga
W (mc)	Volume invasato
Vr [acre-feet]	Volume serbatoio
hd [feet]	Altezza iniziale acqua
As [Acres]	Area serbatoio al coronamento

Parametri di output:

Vm (mc)	Materiale asportato
Vwh	Fattore di formazione della breccia
Qp (mc/s)	Portata di picco dell'idrogramma di piena
b (feet)	Larghezza finale della breccia
Tb (ore)	Tempo di sviluppo della breccia

Formulazioni sperimentali proposte dagli autori:

$V_m = 0.0249(V_{wh})^{0.768}$	MacDonald e Langridge-Monopolis (1984)
$Q_{p1} = 1.153(V_{wh})^{0.412}$	MacDonald e Langridge-Monopolis (1984)
$T_{b1} = 0.0194V_m^{0.357}$	MacDonald e Langridge-Monopolis (1984)
$Q_{p2} = 325(HW / 10^6)^{0.42}$	Costa (1985)
$q_p = 0.116v^{0.221}$	Molinaro e Fenaroli (1990)
$q_p = Q_{p3} / (g^{1/2} H^{5/2})$	Molinaro e Fenaroli (1990)
$v = W / H^3$	Molinaro e Fenaroli (1990)
$b = 9.5K_o (V_r h)^{0.25}$	(Froelich, 1987)
$T_{b2} = 0.59 * V_r^{0.47} / h^{0.9}$	(Froelich, 1987)
$Q_{p4} = 370(V_r h)^{0.5}$ [cfeet/s]	(Hagen, 1982)
$Q_{p5} = 3.1b(C / (T_b + C / \sqrt{h}))^3$ [cfeet/s]	(Fread, 1981)



$$C=23.4*As/b$$

$$K_o=1$$

Ipotizzando che il fondo della breccia coincida con quello del serbatoio, che l'altezza dello sbarramento sia data dalla differenza di quota fra il coronamento ed il fondo del serbatoio e che il volume fuoriuscito sia uguale a quello invasato, si ottengono, nel caso della diga di Sammontana, i seguenti valori di portata di picco (Q_p) e di tempo di sviluppo della breccia (T_b):

Portate di picco	Tempo sviluppo breccia
$Q_{p1} = 469 \text{ mc/s}$	$T_b = 0.28 \text{ ore}$
$Q_{p2} = 448 \text{ mc/s}$	$T_b = 0.28 \text{ ore}$
$Q_{p3} = 593 \text{ mc/s}$	$T_b = 0.28 \text{ ore}$
$Q_{p4} = 793 \text{ mc/s}$	$T_b = 0.20 \text{ ore}$
$Q_{p5} = 328 \text{ mc/s}$	$T_b = 0.20 \text{ ore}$

Come si può osservare i tempi di demolizione dello sbarramento risultano essere piuttosto brevi, dal momento che le dimensioni dell'invaso sono piuttosto limitate, ed oscillano fra i 12 ed i 17 minuti.

I risultati ottenuti per le portate di picco sono invece più discordanti tra loro ed oscillano fra i 328 mc/s ed i 793 mc/s. Escludendo il valore più alto fornito, che si discosta di gran lunga dagli altri, si ottiene una portata media di 459 mc/s.

E' opportuno fare alcune considerazioni al riguardo della scelta dell'altezza della diga e della differenza di quota fra coronamento e fondo della breccia.

In via del tutto teorica è possibile che la breccia si sviluppi fino a raggiungere la quota del piede esterno dello sbarramento, ovvero inferiore al fondo del serbatoio che si trova a monte, per cui attraverso le relazioni empiriche troveremmo portate di picco maggiori e tempi di demolizione più lunghi. L'ipotesi di assumere una quota di breccia pari a quella del fondo, ovvero non cautelativa, è giustificata dal modesto volume dell'invaso a monte. Infatti si è visto che, calcolando l'idrogramma di uscita dall'invaso attraverso il codice descritto nel paragrafo seguente, si possono ottenere portate di picco significativamente più grandi esclusivamente diminuendo il tempo di demolizione, ovvero avvicinandosi al caso di crollo improvviso, indipendentemente dalla profondità finale raggiunta dalla breccia. La scarsa importanza della quota finale della breccia nel calcolo della portata massima ci induce a pensare che all'esiguità del volume invasato è associato un rapido svuotamento dello stesso e quindi l'esaurirsi in tempi brevi della capacità erosiva della portata fuoriuscita che non è in grado di approfondire più di tanto il fondo della breccia.

Diventa quindi ragionevole supporre che il fondo della breccia raggiunga al massimo la quota del fondo.



4.3 Valutazione idrogramma di piena attraverso il codice DAMBRK

Il programma DAMBRK consente di effettuare la simulazione sia del crollo dello sbarramento che della propagazione dell'onda di piena nell'alveo di valle.

L'evoluzione della breccia durante il crollo viene schematizzata attraverso una geometria trapezoidale variabile in funzione del tempo secondo una legge polinomiale prefissata, ed è determinata dai seguenti parametri:

- Larghezza finale della breccia
- Durata complessiva del fenomeno di evoluzione della breccia
- Pendenza delle sponde
- Altezza finale della breccia
- Grado del polinomio rappresentante l'evoluzione della breccia in funzione del tempo

Per il calcolo della portata in uscita sono utilizzati:

- Curva Altezza - Superficie di invaso
- Volume di acqua fuoriuscito
- Altezza dello sbarramento
- Altezza del pelo libero nell'istante iniziale del crollo

Le ultime quattro grandezze e l'altezza finale della breccia possono essere facilmente dedotte conoscendo la geometria dell'invaso, ipotizzando in prima approssimazione che il livello del pelo libero all'inizio del crollo coincida con quello del coronamento, che la quota minima della breccia coincida con quella del fondo dell'invaso e che l'altezza dello sbarramento sia la differenza fra quota del coronamento e quella del fondo.

Durata dell'evento, larghezza finale della breccia e pendenza delle sponde devono essere scelti in maniera opportuna e possono essere utilizzati per la taratura del modello. La taratura è stata quindi effettuata sui risultati ottenuti attraverso le relazioni empiriche in precedenza descritte.

Ponendo quindi:

- Larghezza della braccia = 18 m
- Durata complessiva del fenomeno di evoluzione della breccia = 0.25 ore
- Grado del polinomio rappresentante l'evoluzione della breccia in funzione del tempo = 2

$Q_p = 450 \text{ mc/s}$



In figura 3 sono riportati l'evoluzione del fondo della breccia, i livelli idrometrici all'interno del serbatoio e l'idrogramma di piena. Il valore delle portate all'interno del file di output viene indicato con $Q(I)$ ed è riportato a pagina 6-8 del tabulato.

Adottando un'evoluzione della breccia di tipo quadratico si cerca di simulare la fase iniziale in cui ai modesti battenti idrici esistenti fra quota del pelo libero e fondo della breccia è associata una minore capacità erosiva della portata fuoriuscita.

La rapidità del crollo (circa 0.25 ore) si riflette direttamente sulla breve durata dell'idrogramma, alla quale contribuisce anche il relativamente piccolo volume invasato dalla diga.

All'istante in cui si interrompe l'evoluzione della breccia, raggiungendo i 56.16 m s.l.m., il livello idrico nel serbatoio è a 59.54 m s.l.m. e la portata ancora di 416 mc/s. Il volume invasato risulta però ridotto a 25000 mc per cui in breve termine si ha l'esaurimento della portata in uscita, che passa a circa 100 mc/s dopo 72 s ed a 40 mc/s dopo altri 72 s.

Questo risultato giustifica l'ipotesi assunta in precedenza che il livello minimo della breccia coincida con il fondo del serbatoio.

Si può osservare che la portata finale non si esaurisce completamente ma, a causa della procedura di calcolo utilizzata, si mantiene intorno a valori finali prossimi ai 20 mc/s.

Una più completa esposizione dei risultati ottenuti viene fornita dai tabulati di output del NWS DAMBRK model, riportati in allegato.



5. Simulazione dell'onda di piena

Come è stato precedentemente descritto, a valle dell'invaso di Sammontana la morfologia del terreno presenta una stretta valletta che dopo circa 300 m si immette in un'area pianeggiante che degrada con debole pendenza verso il fiume Arno.

L'alveo del torrente intercettato dallo sbarramento ha dimensioni di un piccolo fosso per cui è facile intuire che non può essere in grado di convogliare la portata massima prevista.

L'onda di piena inizialmente si propagherà all'interno della valletta per poi riversarsi nella piana ed assumere un moto bidimensionale.

La propagazione dell'onda di piena a valle dello sbarramento è stata studiata attraverso il codice di calcolo DMBRK, che risolve per via numerica le equazioni di De Saint Venant per una corrente monodimensionale attraverso un metodo numerico implicito alle differenze finite, pesato su quattro step di calcolo.

L'algoritmo individua, mediante una preliminare simulazione in moto permanente, i tratti in corrente veloce e quelli in corrente lenta e conseguentemente le sezioni di controllo nel procedimento di risoluzione delle equazioni di De Saint Venant.

Tra le varie possibilità offerte dal modello, si citano le seguenti:

- generazione dell'onda di piena causata dalla rottura dello sbarramento e propagazione della stessa;
- valutazione degli effetti di rigurgito indotti da ponti e traverse;
- simulazione di invasi in fregio all'alveo (casse di espansione).

I dati di input possono essere così riassunti:

- Informazioni per la definizione della routine di calcolo e dei dati di output;
- Caratteristiche dell'invaso e portata ad esso affluente;
- Parametri geometrici ed evoluzione della breccia;
- Descrizione dello sbarramento e portata iniziale in uscita;
- Descrizione delle sezioni dell'alveo a valle dell'invaso;
- Caratteristiche dei tronchi d'alveo individuati dalle sezioni.

Il programma fornisce i seguenti dati di output:

- Riepilogo dati di input.
- Idrogramma in uscita dall'invaso.
- Condizioni iniziali del moto all'interno dell'alveo.
- Principali parametri di output relativi ad ogni time step
- Andamento nelle sezioni di calcolo dei valori massimi delle portate, altezze, tempi di picco e velocità.
- Andamento nel tempo delle altezze d'acqua e delle portate in ogni sezione.



In tabella 1 sono riportati i principali risultati del programma, calcolati nelle sezioni di input:

• n.sez.	Numero sezione
• Dist (m)	Distanza dallo sbarramento
• Qmax (mc/s)	Massima portata durante l'evento
• Tpicco (s)	Tempi di arrivo del picco di portata
• Vmax (m/s)	Velocità massima durante l'evento
• Hfondo (m s.l.m.)	Altezza del fondo
• Hmax (m s.l.m.)	Livello idrometrico massimo
• Etot (m s.l.m.)	Carico totale corrispondente al massimo livello idrometrico

5.1 Tratto di studio

La particolare conformazione del territorio a valle dello sbarramento con la presenza dell'ampia area pianeggiante limita l'utilizzo del NWS DAMBRK model, che risolve le equazioni del moto monodimensionale. Infatti la portata in ingresso nella pianura defluisce in una sezione larga alcune centinaia di metri, per cui il moto della corrente assume caratteristiche bidimensionali allontanandosi dalle ipotesi adottate dal programma di calcolo.

Questa considerazione ci costringe ad utilizzare il codice di calcolo esclusivamente per il tratto lungo circa 300 m a valle dello sbarramento.

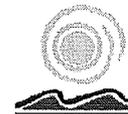
D'altra parte l'area finale allagata, per le sue caratteristiche diventa una sorta di "vasca" in cui l'acqua viene di fatto a terminare il suo moto, per defluire a valle attraverso modesti fossi camperecci che attraversano il rilevato della superstrada.

La caratterizzazione morfologica dell'alveo è stata fatta attraverso la cartografia 1:2000 e 1:10000. Tali scale, pur non potendo fornire un ottimo dettaglio del territorio, permettono di contenere gli errori introdotti nella descrizione delle sezioni in limiti accettabili rispetto a quelli che vengono introdotti nella simulazione del moto vario.

Il tratto è stato descritto mediante tredici sezioni aventi una larghezza che aumenta andando verso valle. Nella decima sezione è stato preso in considerazione il restringimento dovuto alla presenza del cimitero, vedi tavola 4.

Solo una parte della portata tracimata verrà convogliata dal Rio di Sammontana, dal momento che immediatamente uscito dalla vallata l'alveo diventa pensile sul piano di campagna, raggiungendo i 2.00 m sul piano di campagna dopo un breve tratto, infatti la sezione del Rio di Sammontana all'ingresso della pianura alluvionale è estremamente esigua per cui anche la portata che può ricevere in ingresso è minima.

Tale particolare condizione ci induce ad abbandonare la tipologia di studio indicata dalle raccomandazioni del legislatore, secondo cui dovrebbe essere studiata la propagazione dell'onda di piena in un tratto di valle esteso fino alla sezione in cui la portata dovuta al crollo uguaglia quella cinquecentennale.



6. Risultati dell'elaborazione

Per una completa visione dei risultati forniti dal modello si rimanda ai tabulati in allegato ed alla tabella 1 riassuntiva.

6.1 Massimi livelli idrometrici

L'involuppo dei massimi livelli idrici viene riportato in tavola 3 ed in figura 4, ed a pagina 17 - 21 del tabulato. Da pagina 24 a pagina 34 del tabulato sono invece riportati gli andamenti dei livelli idrici calcolati nelle sezioni di input.

L'andamento dei livelli idrici all'interno della vallata può essere distinto in quattro tratti:

- Tratto immediatamente a valle dello sbarramento fino alla sezione 2, in cui la profondità è inferiore ai 2.00 m, a causa delle accentuate pendenze del fondo.
- Tratto compreso fra la sezione 2 e la 8, in cui il livello oscilla intorno ai 2.70 m.
- Tratto fra la sezione 8 e la 10, in cui l'altezza aumenta fino a quasi 4.00 m a causa del cimitero che costituisce un ostacolo al deflusso della portata.
- Tratto a valle della sezione 10, in cui il livello idrometrico diminuisce fino a 1.50 m dovuto all'allargarsi della della sezione in prossimità della vallata.

6.2 Carichi totali

Come si può osservare in tavola 3 l'andamento dei carichi totali decresce in modo regolare lungo tutto il tratto di studio eccetto che nel tratto iniziale dove alla accentuata pendenza è associata una notevole perdita di carico.

In corrispondenza della sezione 10 si ha una leggera diminuzione delle perdite, per poi riaumentare immediatamente a valle dell'ostacolo.

6.3 Portata di picco

Come era intuibile aspettarsi, data la brevità del tratto considerato e l'assenza di aree esondabili a latere dell'alveo, è quasi assente la laminazione del picco della portata, per cui all'ingresso della pianura la portata è ancora intorno i 430 mc/s, vedi figura 5, pagine 16, 21-23 e 24-34 del tabulato.

Il decremento della portata è praticamente costante lungo tutto il tratto.

6.4 Tempi di picco

Il tempo di arrivo del picco della portata rimane praticamente invariato lungo tutto il tratto di studio, ed è approssimativamente a 14 minuti dall'inizio dell'evento, vedi figura 6, pagina 16. Gli scostamenti che si riscontrano nella sezione iniziale e finale sono molto probabilmente dovuti ad instabilità di calcolo, pur mantenendo correttamente un andamento crescente.



6.5 Velocità massime

L'andamento delle velocità della corrente all'interno dell'alveo sono approssimativamente complementari a quello delle altezze massime, vedi figura 7 e pagina 16 del tabulato. Infatti si ha il tratto iniziale in cui raggiungono anche gli 8 m/s, per poi decrescere intorno ai 6 m/s. In corrispondenza del cimitero il sovrizzo del pelo libero induce una diminuzione della velocità fino ai 2 m/s della sezione 9. A valle della sezione 10 ritornano intorno ai 6 m/s ed infine in corrispondenza dell'allargamento della sezione in prossimità della pianura, ritornano ad abbassarsi a 4 m/s.

6.6 Aree allagate

In base ai risultati della elaborazione numerica ed a considerazioni sulla morfologia del luogo sono state rappresentate le aree allagate dall'ondata di piena.

In tavola 4 sono riportate in scala 1:2000 le aree interessate al passaggio della piena nel tratto immediatamente a valle dello sbarramento.

Come si può osservare l'ampiezza del pelo libero varia dai circa 40 m immediatamente a valle dello sbarramento ai circa 90 m in corrispondenza della sezione 9 e 10 del cimitero.

La larghezza del pelo libero aumenta prima dell'immissione all'interno della pianura, dove la sezione diventa molto più ampia.

All'uscita della vallata la portata di piena può defluire in due differenti zone che, come descritto in precedenza sono idraulicamente distinte, vedi tavola 5. La prima area pianeggiante è delimitata ad ovest dagli argini del Rio Budella, ad est dal Rio di Sammontana ed a nord dal rilevato della superstrada Fi-Li ed è in posizione frontale rispetto all'invaso; la seconda è delimitata ad ovest dal rio di Sammontana ad est dalle colline a nord dell'invaso, ed a nord dal rilevato della superstrada Fi-Li e si trova spostata verso destra rispetto alla vallata.

La pendenza del terreno e l'asse principale della vallata sono tali che la portata trova la sua via preferenziale defluendo all'interno della prima delle due superfici. Dove termina la vallata, fra la curva verso nord del Rio di Sammontana ed il poggio in destra è presente un breve tratto pianeggiante largo circa 20 m e rialzato di circa 1 m rispetto al fondo valle, vedi foto 3, che può funzionare come soglia stramazante laterale di immissione della portata nella seconda area pianeggiante.

A questo tratto è stata attribuita la relazione degli stramazzi in parete grossa:

$$Q(mc/s) = \frac{2}{3\sqrt{3}} BY \sqrt{2gY}$$



dove B ed Y sono rispettivamente la larghezza della soglia e la differenza di quota fra pelo libero e sommità.

Conoscendo quindi la portata in corrispondenza della sezione 13, vedi figura 8, e l'altezza del pelo libero in corrispondenza della soglia è stato possibile ricostruire l'andamento delle portate tracimanti, vedi figura 9, delle quali la massima è circa 45 mc/s mentre il volume complessivamente tracimato risulta circa 24000 mc.

I rimanenti 139000 mc dei circa 163000 mc invasati dalla diga di Sammontana si riversano all'interno della prima area pianeggiante.

Dalla cartografia 1:10000 si osserva che il punto più depresso di quest'ultima è posto ad una quota di 28.5 m s.l.m.. Si può ricavare dalla stessa cartografia che alla curva di livello dei 30 m s.l.m., corrisponde una superficie di 173307 mq all'interno dell'area. Alla quota di 30.15 m s.l.m., coincidente con il fondo di un sottopasso di comunicazione fra l'area e la zona a nord della superstrada Fi-Li, è invece associata una superficie di 183846 mq. Supponendo che la quota media del fondo sia di 29.35 m s.l.m. si può dedurre che il volume invasabile con un'altezza media di 0.80 m, prima che si abbia lo sfioro nella zona a nord della superstrada, sia di circa 151000 mc, e quindi maggiore dei 139000 mc in arrivo dall'invaso.

In tavola 6 sono riportate le superfici sulle quali inizialmente si accumuleranno i volumi d'acqua fuoriusciti dalla diga.

In realtà è probabile che parte del volume di acqua in arrivo tracimi al di là della superstrada a causa delle oscillazioni che può subire il livello del pelo libero nel momento in cui il fronte di piena trova l'ostacolo del rilevato stradale. Attraverso le precedenti ipotesi si può comunque supporre che tale quantità d'acqua attraversante il sottopasso sia trascurabile.

Successivamente l'acqua defluisce a valle del rilevato e quindi verso i canali di bonifica di immissione in Arno e nello stesso alveo del Rio di Sammontana, attraverso i fossi di scolo presenti riportati in tavola 2.

La portata tracimata lateralmente va invece ad allagare la zona più depressa di questa area (28 m s.l.m.) in corrispondenza del rilevato della superstrada, dove sono presenti oltre ad abitazioni anche capannoni industriali, vedi tavola 6. Dal momento che la superficie compresa fra i 28 ed i 29 m s.l.m. è di circa 60000 mq si può supporre che la profondità media provocata dalla portata in arrivo sia minore di 0.5 m.

Dall'esame delle tavole 4, 5 e 6, è possibile individuare quali siano nel presente gli edifici che vengono direttamente investiti dall'ondata di piena:

- Il cimitero posto immediatamente a valle dello sbarramento;
- I due poderi presenti all'interno dell'area pianeggiante all'uscita della vallata;
- Gli edifici industriali ed adibiti a civile abitazione presenti nell'area pianeggiante in riva destra del Rio di Sammontana.



Nei primi due casi gli edifici verranno direttamente investiti dall'onda di piena e potranno subire ingenti danni alle strutture.

L'area edificata in riva destra del Rio di Sammontana verrà interessata solamente dall'afflusso della portata stramazzante che, oltre che essere piuttosto bassa (circa 45 mc/s), verrà ulteriormente laminata lungo il percorso di circa 300 m prima di arrivare agli edifici.

6.7 Aree interessate da erosione o deposito di sedimenti

Il materiale trasportato dall'onda di piena conseguente al collasso dello sbarramento è formato prevalentemente dai terreni costituenti la parte demolita della diga, dai sedimenti depositati sul fondo del lago e dal trasporto solido della piena in atto. Nel suo moto verso la pianura, molto verosimilmente, il fronte d'onda scaverà un letto fluviale che porterà all'erosione di una parte del fondo della valletta e della piana verso cui l'acqua si riversa. Tale materiale verrà a depositarsi nella piana conseguentemente al rallentamento della velocità di moto della corrente, in corrispondenza, grosso modo, delle aree allagate.

Diga di Sammontana
Curva altezze - volumi invasati

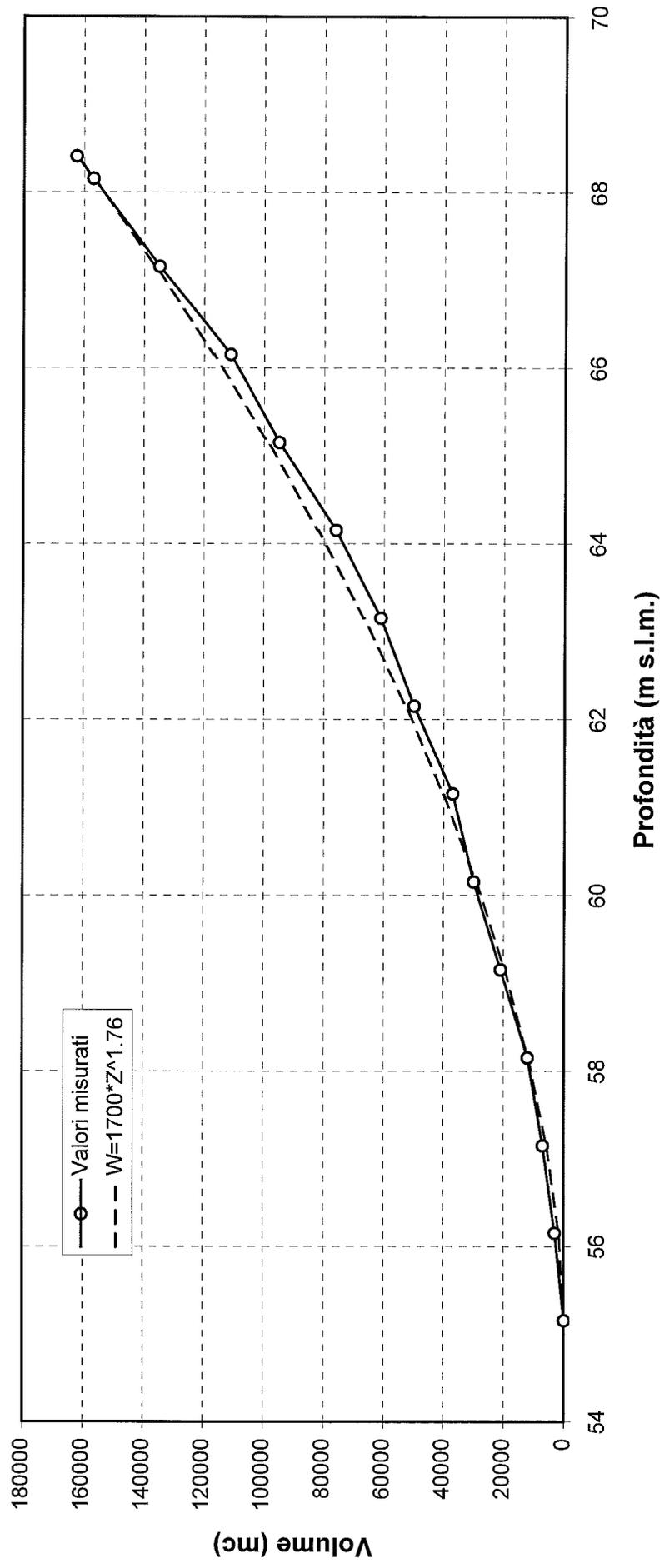


Figura 1

Diga di Sammontana
Curva di portata dello scarico di superficie

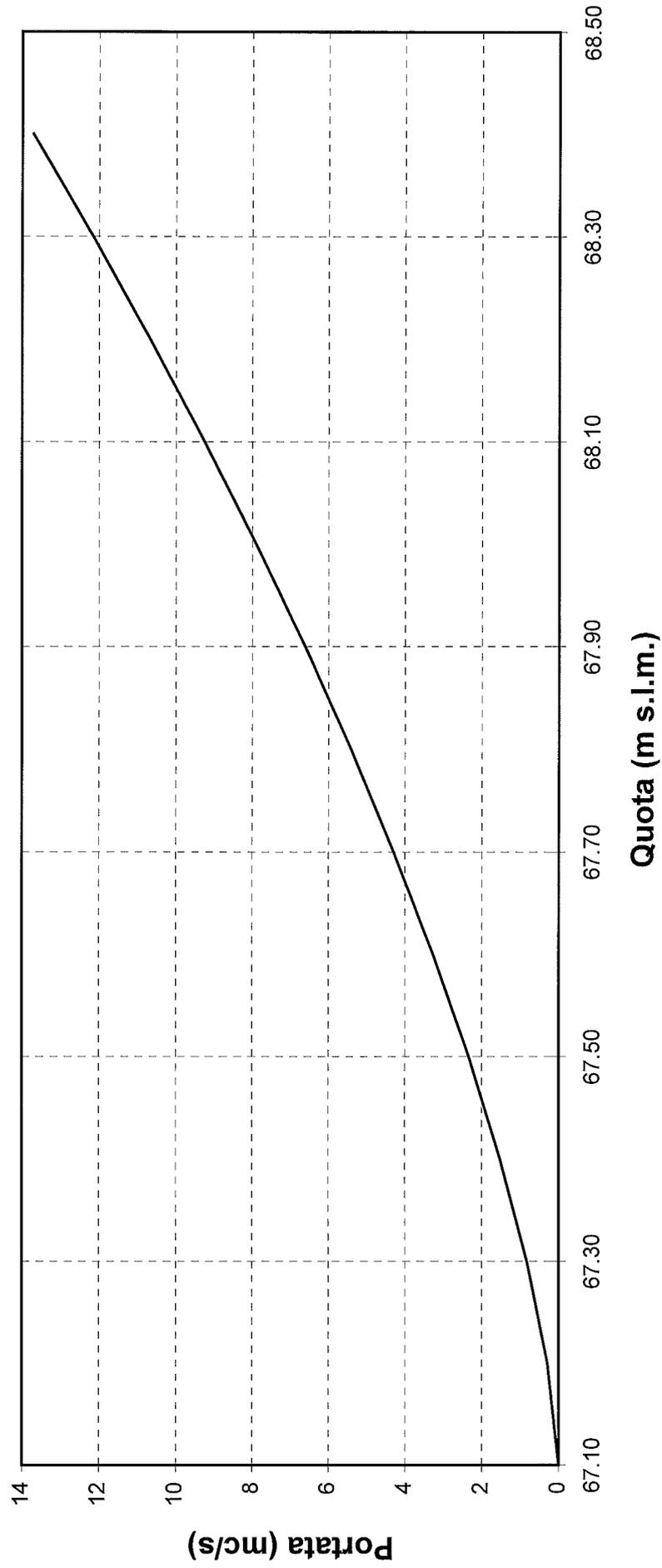


Figura 2

Diga di Sammontana Simulazione crollo diga

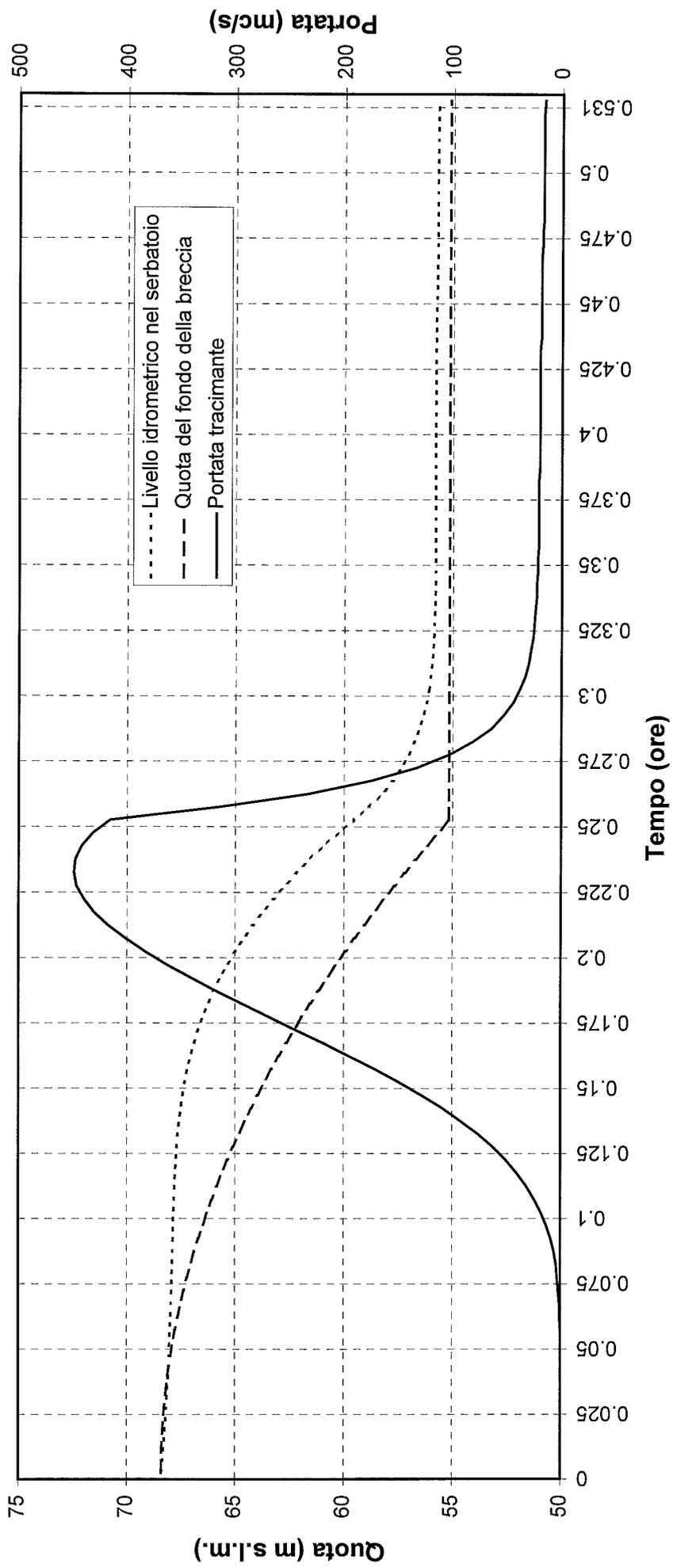


Figura 3

Diga di Sammontana
Altezze massime a valle dello sbarramento

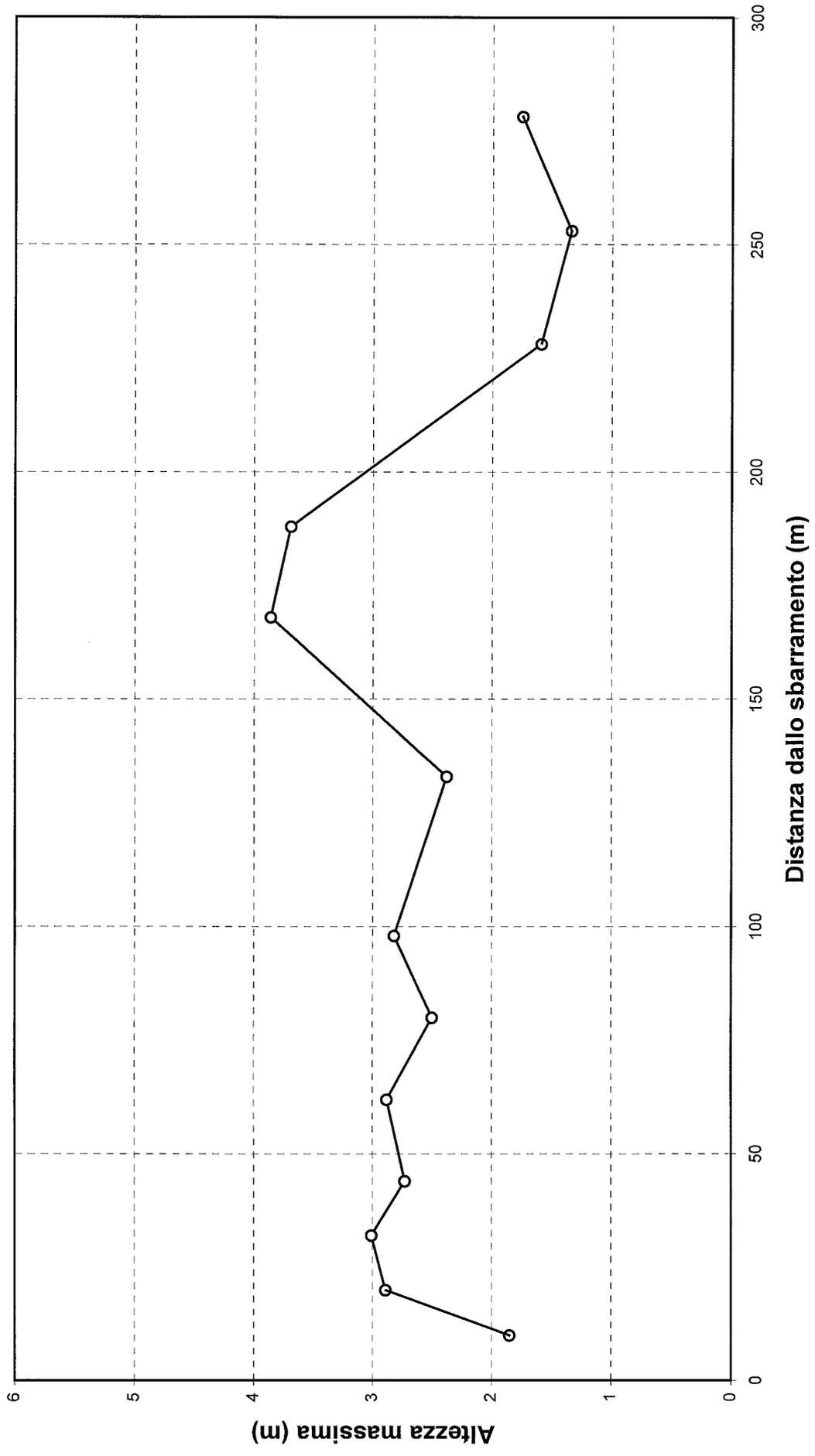


Figura 4

Diga di Sammontana
Portate di picco a valle dello sbarramento

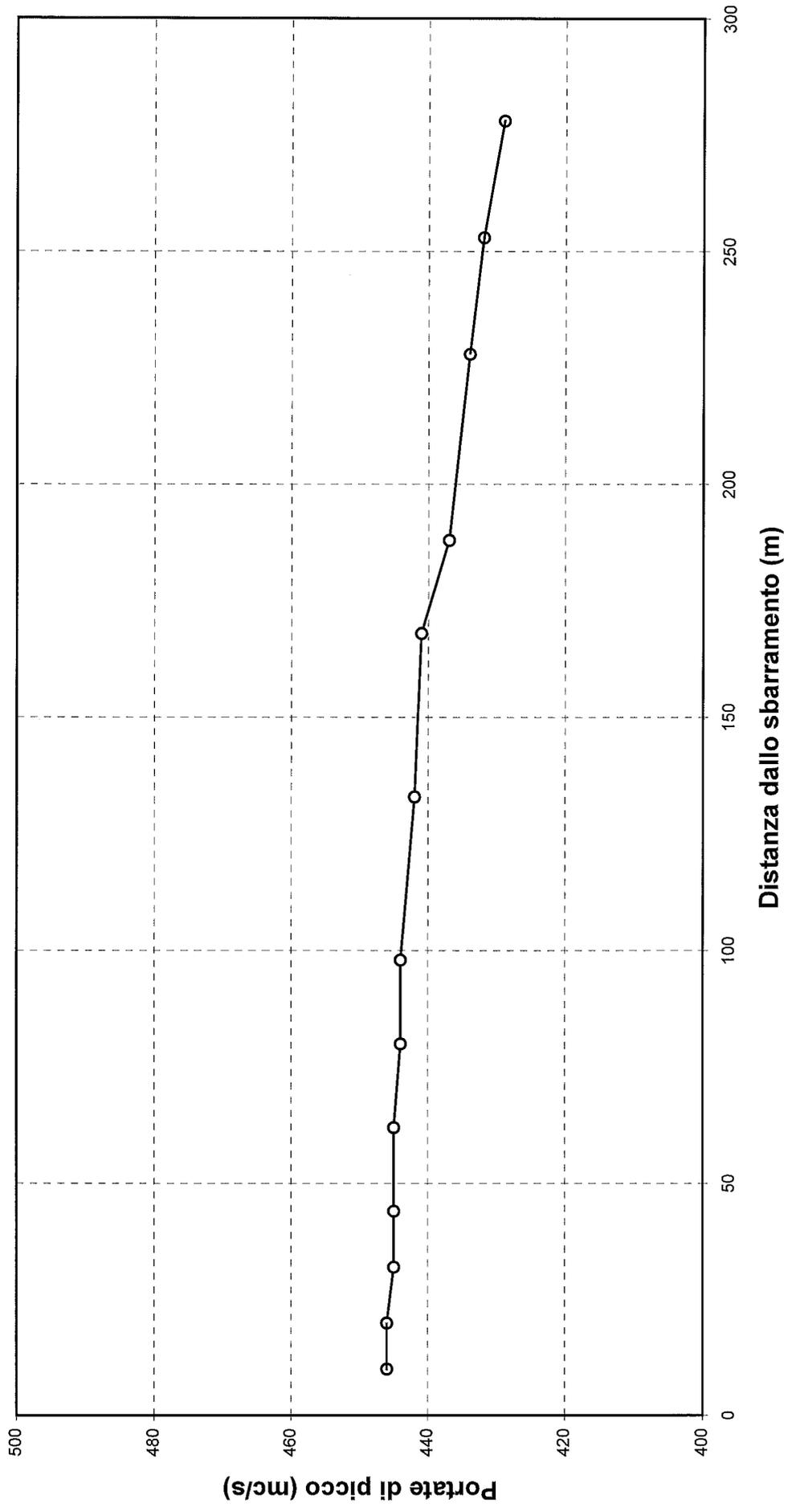


Figura 5

Diga di Sammontana
Tempo di picco dall'inizio dell'evento
a valle dello sbarramento

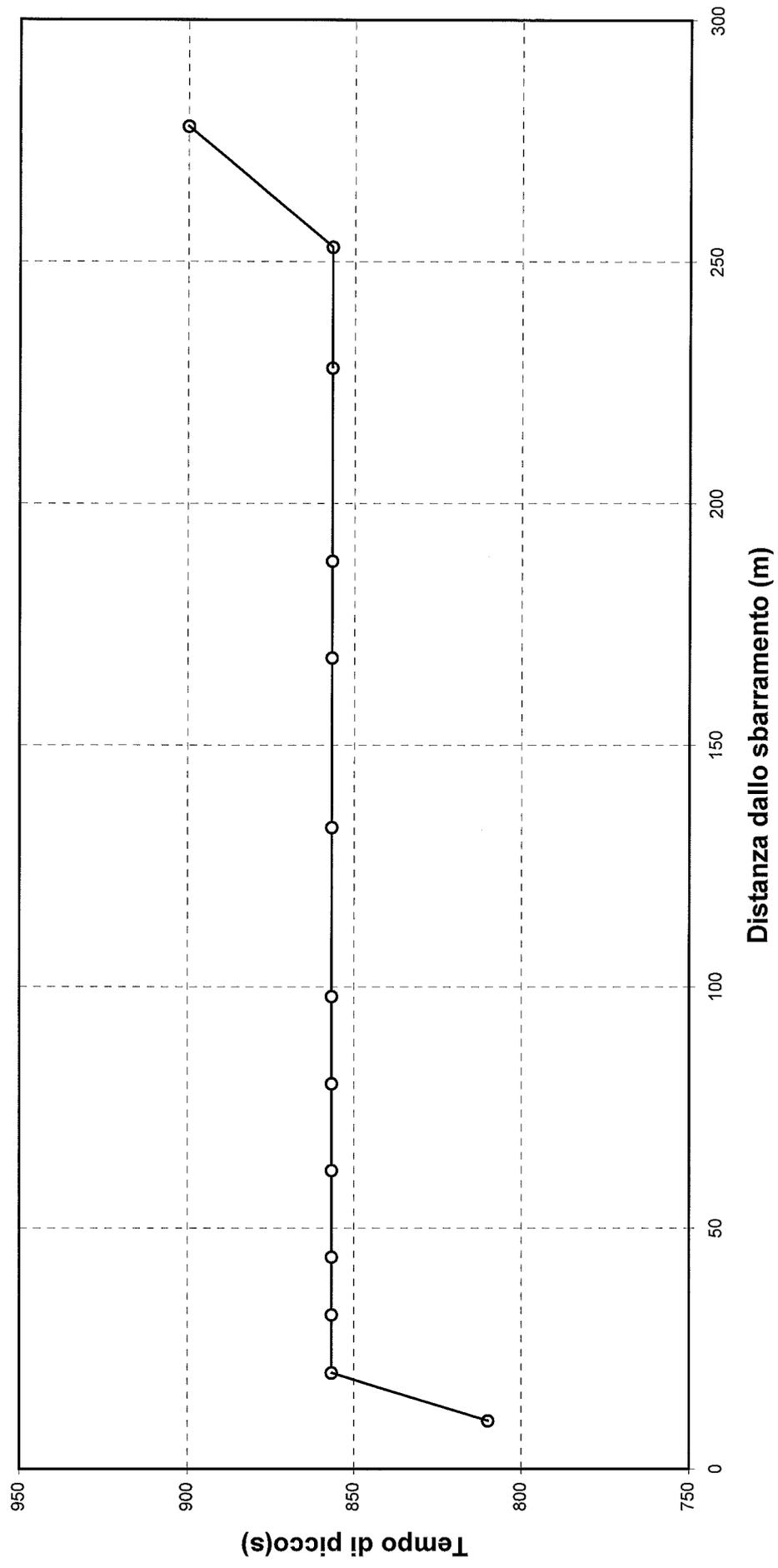


Figura 6

Diga di Sammontana
Velocità massime a valle dello sbarramento

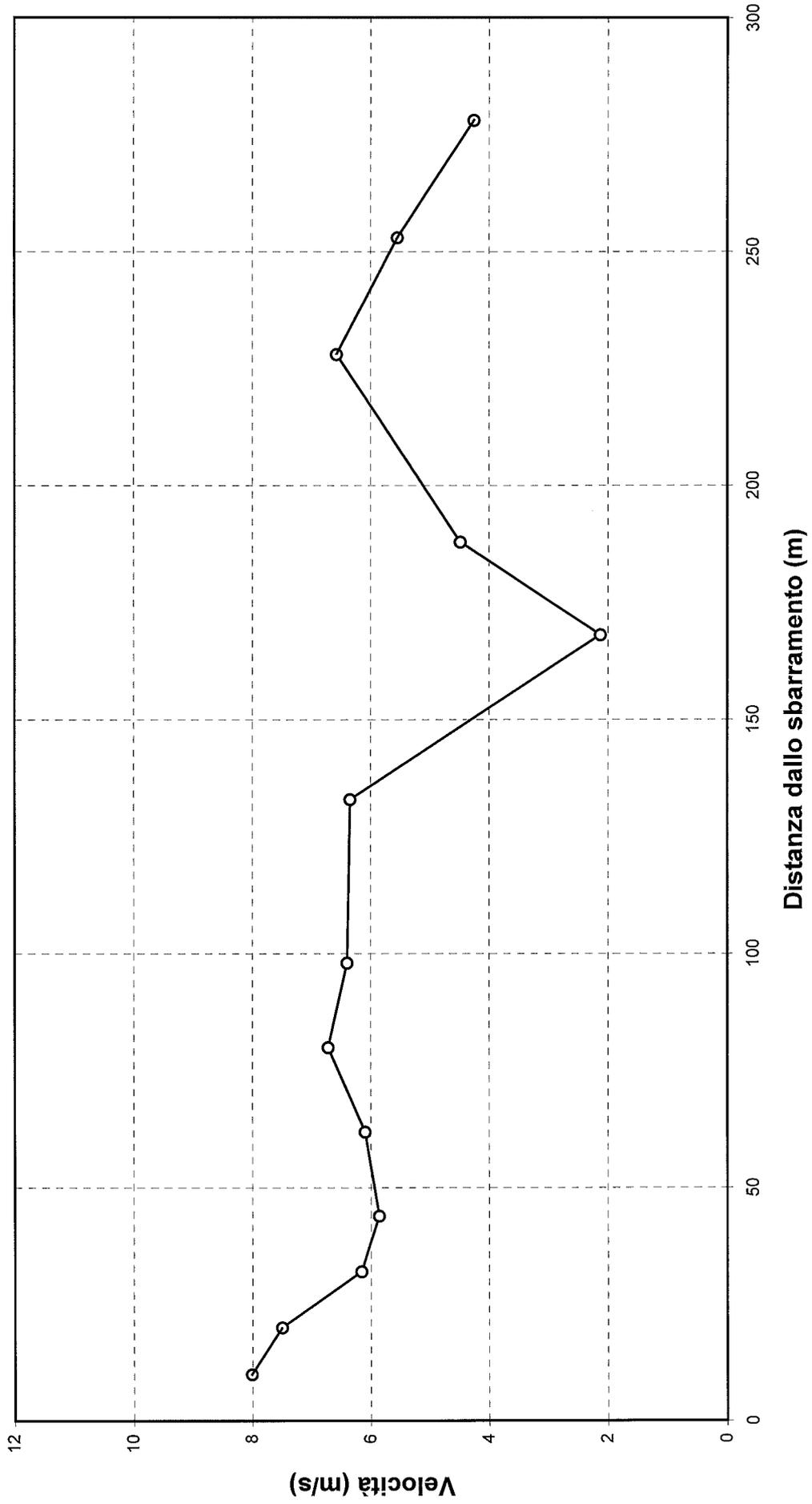


Figura 7

Diga di Sammontana
Idrogramma di piena nella sezione 13

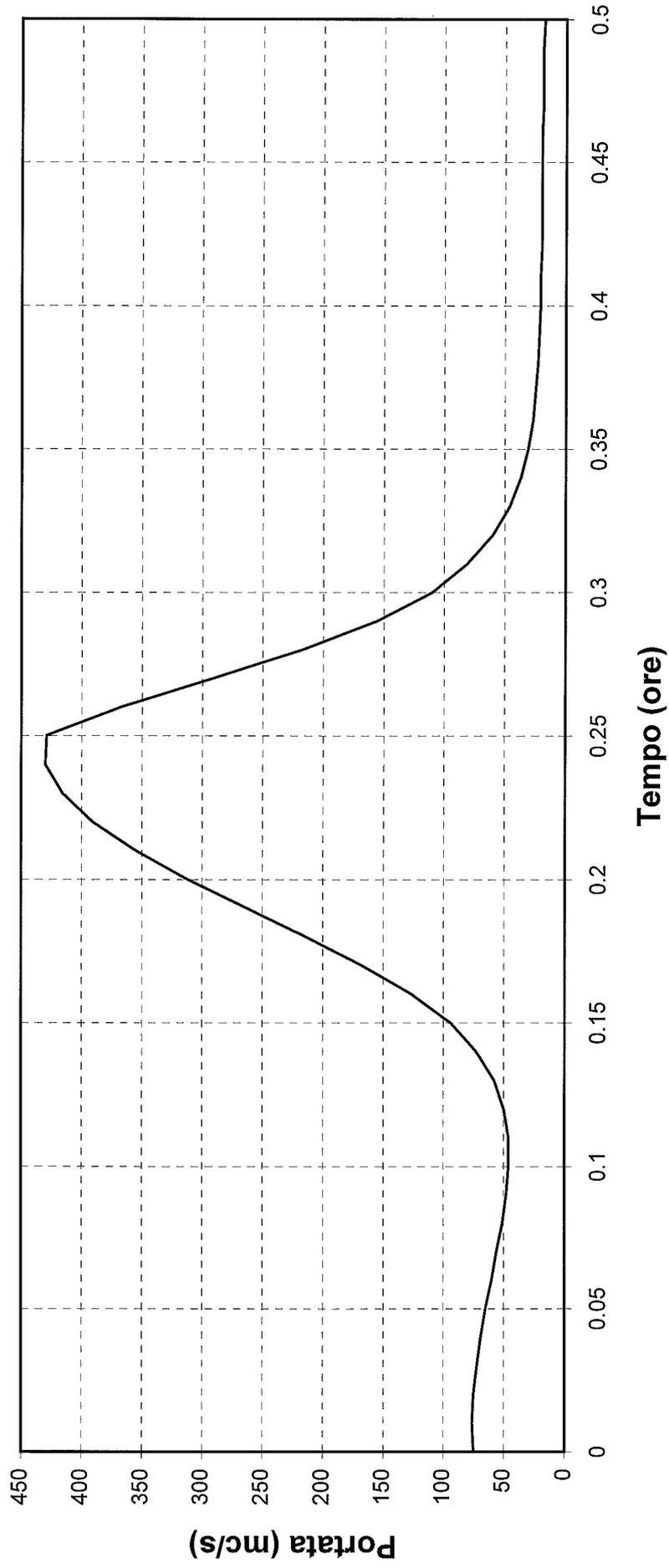


Figura 8

Diga di Sammontana
Portata laterale e volumi defluiti nell'area pianeggiante in riva destra del Rio di Sammontana

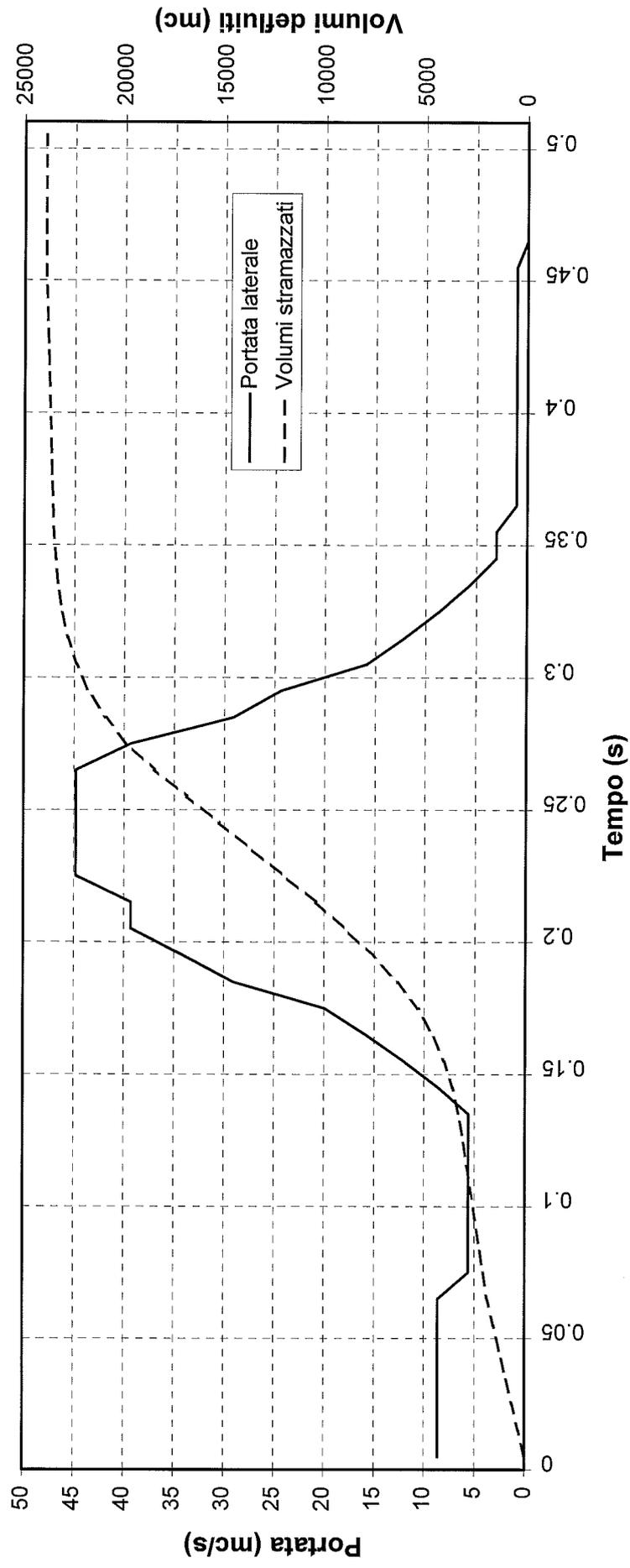


Figura 9

Diga di Sammontana

Principali parametri di output

N. sez.	Dist(Km)	Dist(m)	Qmax(mc/s)	Tpicco(ore)	Tpicco(s)	Vmax(m/s)	Hfondo(m s.l.m.)	Hmax(m s.l.m.)	Hmax(m)	Etot(m s.l.m.)
1	0.01	10	446	0.225	810	8.01	55	56.85	1.85	60.12347449
2	0.02	20	446	0.238	856.8	7.5	52	54.89	2.89	57.75989796
3	0.032	32	445	0.238	856.8	6.16	51	54.01	3.01	55.946
4	0.044	44	445	0.238	856.8	5.86	50	52.73	2.73	54.48202041
5	0.062	62	445	0.238	856.8	6.1	49.3	52.18	2.88	54.07846939
6	0.08	80	444	0.238	856.8	6.72	48.7	51.2	2.5	53.504
7	0.098	98	444	0.238	856.8	6.4	48	50.82	2.82	52.90979592
8	0.133	133	442	0.238	856.8	6.35	47.3	49.68	2.38	51.73727041
9	0.168	168	441	0.238	856.8	2.13	46.7	50.56	3.86	50.79147449
10	0.188	188	437	0.238	856.8	4.49	46	49.69	3.69	50.71857653
11	0.228	228	434	0.238	856.8	6.58	45.3	46.89	1.59	49.099
12	0.253	253	432	0.238	856.8	5.55	44.7	46.04	1.34	47.61155612
13	0.278	278	429	0.25	900	4.26	44	45.75	1.75	46.67589796