ARPA Piemonte
Agenzia Regionale di Protezione dell'Ambiente

SUPSI – IST
SCUOLA UNIVERSITARIA PROFESSIONALE DELLA SVIZZERA ITALIANA
Istituto Scienze della Terra

UIDR – UPTO
REGISTO ITALIANO DIGHE
Ufficio Idraulica

Programma INTERREG IIIA Italia Svizzera 2000-2006

MISURA 2.1

Gestione del Territorio, Salvaguardia e Valorizzazione delle Risorse Ambientali

PROGETTO

Sviluppo di un sistema di gestione dei rischi idrogeologici nell'area del lago Maggiore

Azione 3

STUDIO DEL RUOLO DEI BACINI ARTIFICIALI NELLA FORMAZIONE DELLE PIENE

Fase 3.2

DEFINIZIONE DEI CRITERI ED INDIVIDUAZIONE DELLE AREE 'TARGET'

RELAZIONE FINALE

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili
DITIC

Gruppo di lavoro:

Prof. Pierluigi Claps
Ing. Francesco Laio
Ing. Filippo Miotto
Ing. Alessandro Giordano

INDICE

1 PREMESSA 1

2 DEFINIZIONE DELLE AREE STORICAMENTE VULNERATE..... 3

2.1 Programma Interreg IIC-Mediterraneo Occidentale e Alpi Latine-Italia–Spagna. 4

2.2 Banca dati sui dissesti nel Verbano Cusio Ossola (VCO) – relazione 2001. 5

2.3 Fenomeni di dissesto nel Verbano Cusio Ossola (VCO) – relazione 2000. 7

2.4 Giacomelli et al. - Eventi alluvionali in Piemonte nel XX Secolo. 10

2.5 Evento alluvionale del 13-16 Ottobre 2000: rapporto DSTP. 11

2.6 Progetto AVI: censimento delle Aree Storicamente Vulnerate da Calamita' Geologiche ed Idrauliche. 12

2.7 MAPPAVI – Supporto informatico per la consultazione dei dati raccolti dal progetto AVI 15

2.8 Frane e Inondazioni in Italia (SICI – IRPI) 18

2.9 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Po (PAI), Regione Piemonte, 2001. 23

2.10 Organizzazione dei risultati complessivi dell'analisi storica 23

2.11 Considerazioni sulle aree vulnerate per manovre opere di scarico. 25

2.11.1 Valutazione delle zone a rischio. 26

3 INDICI SPEDITIVI PER LA VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'EFFETTO DI LAMINAZIONE 29

3.1 Premessa 29

3.2 Indice del rapporto tra le aree dei bacini sottesi 30

3.3 Indice FARL. 31

3.4 Calcolo degli indici speditivi nel bacino del fiume Toce 33

3.4.1 Alto corso del Toce 36

3.4.2 Val di Devero 37

3.4.3 Val Diveria 37

3.4.4 Val Isorno 38

3.4.5 Valle Ovesca 38

3.4.6 Valle Anzasca 38

3.4.7 Valutazione complessiva dei risultati ottenuti 39

4 VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DI LAMINAZIONE. 40
4.1 Metodologia di calcolo. 40
4.2 Caratteristiche geomorfoclimatiche dei bacini. 42
4.3 Valutazione della portata indice. 45
4.4 Valutazione del coefficiente di crescita. 46
4.5 Rapporto di riduzione dei colmi di piena. 47
4.6 Caratteristiche dell'invaso. 48
4.6.1 Condizioni iniziali del serbatoio. 48
4.6.2 Curva di invaso. 49
4.6.3 Curva di efflusso. 50
4.7 Valutazione dell'effetto di laminazione. 50
4.7.1 Idrogramma in ingresso. 51
4.7.2 Idrogramma simmetrico. 52
4.7.3 Idrogramma in uscita. 54
4.7.4 Coefficiente di laminazione. 55
4.8 Discussione dei risultati ottenuti per ogni invaso. 57
4.8.1 Agaro. 58
4.8.2 Agrasina. 59
4.8.3 Alpe Cavalli. 61
4.8.4 Alpe Larecchio. 63
4.8.5 Busin Inferiore. 65
4.8.6 Campliccioli. 66
4.8.7 Camposecco. 68
4.8.8 Ceppo Morelli. 69
4.8.9 Devero. 71
4.8.10 Lago Antrona. 72
4.8.11 Lago Cingino. 73
4.8.12 Lago d'Avino. 74
4.8.13 Morasco. 76
4.8.14 Obersee. 77
4.8.15 Quarazza. 78
4.8.16 Sabbione. 79

4.8.17 Val Toggia. 81
4.8.18 Vannino. 82
4.9 Risultati finali. 84
4.10 Altri parametri di confronto 87
5 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI LAMINAZIONE A DISTANZE CRESCENTI DAGLI INVASI. 92
5.1 Metodologia di calcolo. 92
5.1.1 Coefficiente di laminazione lungo le aste a valle degli invasi. 94
6 DEFINIZIONE DELLE AREE TARGET. 97
6.1 Alto Toce. 97
6.2 Asta del Toce fino a Villadossola. 99
6.3 Basso corso del Toce. 100
6.4 Considerazioni finali. 101

BIBLIOGRAFIA

ALLEGATI

ALLEGATO A: Tabella di sintesi dei maggiori eventi alluvionali.

ALLEGATO B: Risultati relativi al calcolo dell'indice FARL per ogni sottobacino.

ALLEGATO C: Principali caratteristiche geomorfoclimatiche dei bacini sottesi dagli invasi.

ALLEGATO D: Schede singoli invasi. Risultati calcolo effetto laminazione.

ALLEGATO E: Coefficiente di laminazione a valle degli invasi.

TAVOLE

TAVOLA 3: Aree storicamente vulnerate

TAVOLA 4: Rappresentazione schematica della superficie del lago e del bacino sotteso

TAVOLA 5.1: Indice di laminazione FARL – variazione lungo le aste fluviali

TAVOLA 5.2: Indice di laminazione FARL – aree di competenza

TAVOLA 6: Coefficiente di laminazione a valle degli invasi

TAVOLA 7: Definizione delle aree target

1 PREMESSA

Qualunque sia l'entità della riduzione dei colmi di piena determinata dai serbatoi artificiali per effetto della laminazione, essa risulta più consistente nelle zone poste immediatamente a valle dei serbatoi, mentre si riduce man mano che ci si allontana dalla sezione in cui è posto l'invaso, a causa del fatto che gli apporti laterali confluenti nel reticolo idrografico non sono modulati. Quando si è in presenza di un sistema di invasi si deve, quindi, procedere identificando oltre all'effetto di laminazione locale, anche una qualche modalità di attenuazione di tale effetto procedendo verso valle.

Nella definizione delle caratteristiche precedentemente delineate, però, si deve anche considerare che gli effettivi benefici derivanti dalla presenza di un invaso modificano anche il grado di antropizzazione delle valli. Ciò, comporta che gli effettivi valori massimi di portata che le aste fluviali possono far transitare, senza compromettere la sicurezza degli eventuali insediamenti, vadano periodicamente ricontrollati in relazione alle tipologie di interventi antropici effettuati lungo le aste fluviali.

Nel contesto appena delineato, trova la sua piena applicazione la "FASE 3.2" del progetto, finalizzata alla "Definizione dei criteri ed individuazione delle *Aree Target*". Per *Aree Targe*" si intendono quelle zone a valle degli invasi artificiali, per le quali sono da attendersi maggiori benefici dai risultati del progetto, con particolare riferimento ad interventi "attivi" sulla laminazione delle piene.

Nell'ambito di questa fase si sono identificate, innanzitutto, le "aree storicamente vulnerate" della valle del Toce, attraverso il censimento di eventi storici di piena si sono rilevate, nello specifico, le aree da queste interessate da eventi idrologici intensi considerando la loro estensione e l'entità dei danni provocati. Si è così realizzata una mappa delle zone che sono risultate più vulnerate dai fenomeni naturali in oggetto.

Successivamente, si è proceduto alla valutazione, in tutte le principali confluenze, di alcuni indici proposti per l'identificazione preliminare di un possibile grado di abbattimento dei picchi di piena. Questi indici, di determinazione molto semplice, consentono di orientare la valutazione di dettaglio dell'effetto di laminazione su invasi potenzialmente più "capienti" in relazione all'entità del volume di piena in arrivo.

In ultimo, si è proceduto al calcolo dell'effetto di laminazione determinato da ogni invaso, attraverso soluzione numerica dell'equazione differenziale dell'invaso. In queste

valutazioni si è tenuto conto in dettaglio della specifica configurazione fisica di ogni diga. Le determinazioni puntuali dell'effetto di laminazione sono state successivamente estese per considerare l'effetto combinato di più invasi e per stabilire l'entità della riduzione del colmo di piena man mano che ci si sposta sull'asta fluviale verso valle. Da questa estensione è derivata la selezione delle *Aree Target*.

2 DEFINIZIONE DELLE AREE STORICAMENTE VULNERATE.

La definizione delle aree storicamente vulnerate nel bacino del Toce è stata condotta recuperando il maggior numero di informazioni possibili da fonti locali, regionali e nazionali. Nel seguito si citano le fonti consultate specificando l'ambito nel quale si collocano, con brevi descrizioni dei tipi di dati disponibili. Ciò ha permesso di sviluppare la "TAVOLA 3: AREE STORICAMENTE VULNERATE" in cui sono indicate le zone del bacino del fiume Toce maggiormente interessate da eventi calamitosi, basata sulle informazioni riepilogate nell'"Allegato A: Tabella di sintesi dei maggiori eventi alluvionali".

In base a quanto ricavato dall'analisi storica, gli eventi alluvionali, per cui si ha l'attendibilità delle informazioni riportate, vanno dall'ottobre del 1755 all'ultimo evento di piena rilevante del 13 ottobre 2000, identificando, nel complesso, ventinove diversi eventi, la maggior parte concentrati negli ultimi 80 anni. Per ogni evento sono state riportate, oltre naturalmente alla fonte, le aste fluviali maggiormente colpite, con l'indicazione della zona specifica interessata, così come si desume dai singoli rapporti d'evento consultati (vedi Allegato A). Nei casi in cui era disponibile il dato, si è riportata anche la portata massima segnalata sul Toce alla sezione di Condoglia. Come parametro di confronto tra i singoli eventi, si è deciso di esprimere la gravità di ogni singolo evento in base ad un indice indicante il rapporto tra il numero di aste fluviali colpite in ogni singolo evento alluvionale rispetto al numero massimo di aste che sono state colpite da un singolo evento. Nello specifico, individuate nel bacino del Toce 9 aste principali, compresa quella del Toce, si è considerato come il peggiore evento capitato quello del 2 novembre 1968, che ha interessato tutte le nove aste in varie misure, ottenendo, quindi, che per tale evento l'indice di gravità proposto vale 1. Ad esempio, per l'evento del 13 ottobre 2000, si ha che sono state interessate 5 aste fluviali: Toce, Diveria, Bogna, Ovesca, Anza. In tal caso, l'indice di gravità e dato dal rapporto 5/9, pari a 0.56.

L'entrata in servizio degli invasi, riportata a pagina A-1, permette di ottenere un'importante informazione, riscontrabile nel fatto di sapere se la presenza di invasi ha diminuito il rischio da alluvione nelle varie aste interessate. Dai pochi dati a disposizione, si può notare che l'entrata in funzione degli invasi non ha portato effettivi miglioramenti, come del resto c'era da attendersi, dato che gli invasi in questioni non sono preposti alla laminazione delle piene, ma all'accumulo temporaneo di volumi idrici per scopi idroelettrici.

Nella Tavola 3, invece, sono indicate sulla cartografia 1:150'000, le aree interessate dai fenomeni più volte citati. In questo caso, si è indicato tramite dei cerchi le aree di interesse. Tale simbologia, però, non si riferisce alla gravità o all'estensione dell'area colpita, ma solo al fatto che nella zona si sono verificati dei danni, come riportato nell'Allegato A. Più cerchi concentrici, inoltre, indicano che nella stessa zona si sono verificati più eventi. Sulla stessa carta sono segnati anche i siti in cui si prevedono danni in seguito alla manovra di apertura degli scarichi degli invasi, come meglio indicato al paragrafo 2.10.

In tale analisi non si è considerato come aggravante la presenza di vittime in seguito all'alluvione, in quanto non è possibile al momento stabilire se ciò fu dovuto all'intensità degli eventi o a cause esterne non ben identificabili o attribuibili direttamente all'evento stesso.

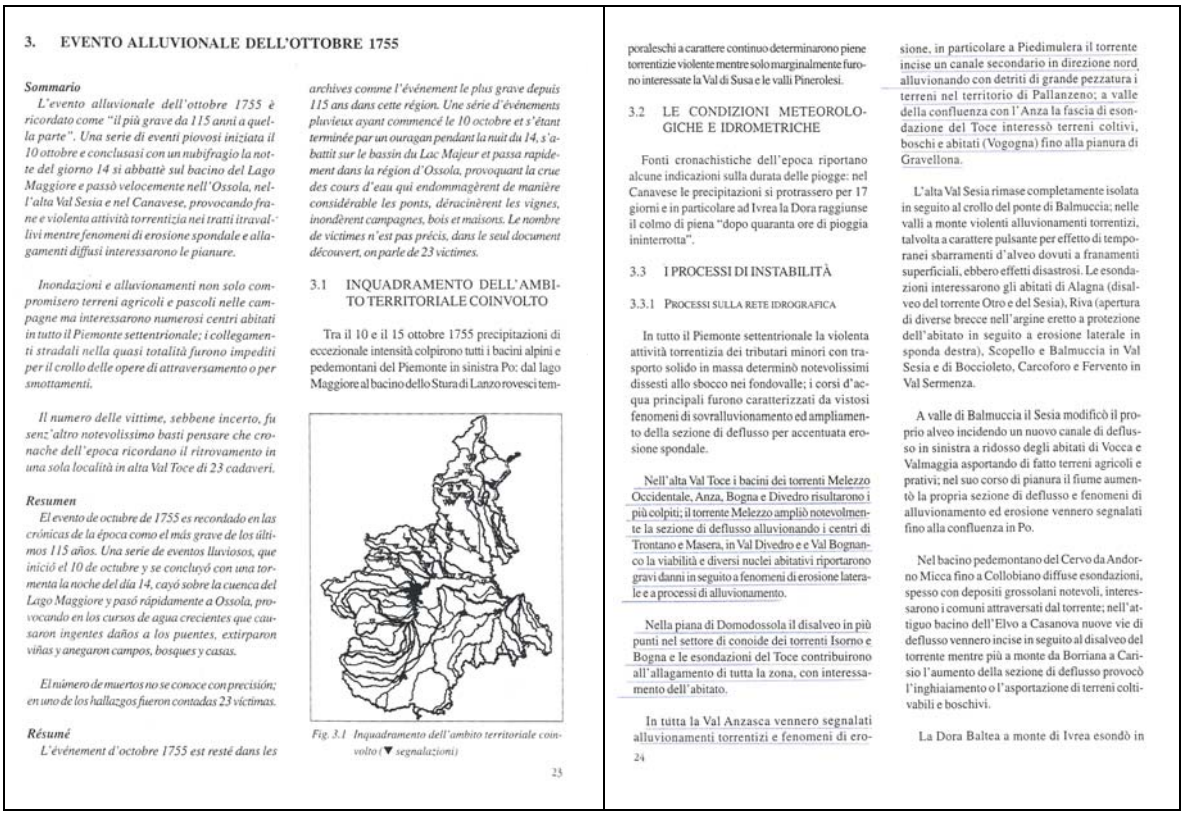
2.1 PROGRAMMA INTERREG IIC – MEDITERRANEO OCCIDENTALE E ALPI LATINE - ITALIA – SPAGNA.

Il programma di iniziativa comunitaria "INTERREG IIC, Gestione del Territorio e prevenzione delle inondazioni" (Regione Piemonte, 2002), promosso dalla Commissione europea nel 1996, costituisce un'iniziativa innovativa di cooperazione transnazionale in materia di organizzazione del territorio dell'Unione europea. Rispetto alla cooperazione transfrontaliera, questo tipo di cooperazione concerne grandi spazi e riguarda principalmente le questioni di pianificazione del territorio nel senso lato del termine.

Tra gli obiettivi principali figura la cooperazione fra gli Stati membri e le relative regioni finalizzata a fronteggiare i problemi comuni di gestione del territorio collegati alle inondazioni e alla siccità. In quest'ottica si inserisce l'elaborato prodotto in comune da Italia e Spagna relativo al censimento dei danni provocati dai principali eventi alluvionali conosciuti fino alla fine del XX° secolo.

Ove è risultato possibile, ognuno degli eventi di piena rilevati del passato è stato analizzato in ogni sua parte. All'*inquadramento dell'ambito territoriale coinvolto* e ad una breve *introduzione di carattere meteorologico*, seguono ogni volta tre paragrafi fondamentali riguardanti i *processi di instabilità sulla rete idrografica*, i *processi di instabilità dei versanti* e gli *effetti indotti sui centri abitati e sulle infrastrutture* (Figura 1). Il carattere dell'elaborato è prettamente testuale e di tipo discorsivo; si segnalano saltuariamente tabelle esplicative e

mancano spesso notizie sull'entità delle portate al colmo in relazione ad una precisa sezione di chiusura.



3. EVENTO ALLUVIONALE DELL'OTTOBRE 1755

Sommario

L'evento alluvionale dell'ottobre 1755 è ricordato come "il più grave da 115 anni a quella parte". Una serie di eventi piovosi iniziata il 10 ottobre e conclusasi con un nubifragio la notte del giorno 14 si abbattè sul bacino del Lago Maggiore e passò velocemente nell'Ossola, nell'alta Val Sesia e nel Canavese, provocando frane e violenta attività torrentizia nei tratti itravallivi mentre fenomeni di erosione spondale e allagamenti diffusi interessarono le pianure.

Inondazioni e alluvionamenti non solo compromisero terreni agricoli e pascoli nelle campagne ma interessarono numerosi centri abitati in tutto il Piemonte settentrionale; i collegamenti stradali nella quasi totalità furono impediti per il crollo delle opere di attraversamento o per smottamenti.

Il numero delle vittime, sebbene incerto, fu senz'altro notevolissimo basti pensare che cronache dell'epoca ricordano il ritrovamento in una sola località in alta Val Toce di 23 cadaveri.

Resumen

El evento de octubre de 1755 es recordado en las crónicas de la época como el más grave de los últimos 115 años. Una serie de eventos lluviosos, que inició el 10 de octubre y se concluyó con una tormenta la noche del día 14, cayó sobre la cuenca del Lago Maggiore y pasó ràpidamente a Ossola, provocando en los cursos de agua crecientes que causaron ingentes daños a los puentes, extirparon viñas y anegaron campos, bosques y casas.

El número de muertos no se conoce con precisión; en uno de los hallazgos fueron contadas 23 víctimas.

Résumé

L'événement d'octobre 1755 est resté dans les archives comme l'événement le plus grave depuis 115 ans dans cette région. Une série d'événements pluvieux ayant commencé le 10 octobre et s'étant terminée par un ouragan pendant la nuit du 14, s'abattit sur le bassin du Lac Majeur et passa rapidement dans la région d'Ossola, provoquant la crue des cours d'eau qui endommagèrent de manière considérable les ponts, déracinèrent les vignes, inondèrent campagnes, bois et maisons. Le nombre de victimes n'est pas précis, dans le seul document découvert, on parle de 23 victimes.

3.1 INQUADRAMENTO DELL'AMBITO TERRITORIALE COINVOLTO

Tra il 10 e il 15 ottobre 1755 precipitazioni di eccezionale intensità colpirono tutti i bacini alpini e pedemontani del Piemonte in sinistra Po: dal lago Maggiore al bacino dello Stura di Lanzo rovesci temporaleschi a carattere continuo determinarono piene torrentizie violente mentre solo marginalmente furono interessate la Val di Susa e le valli Pinerolesi.

Fig. 3.1 Inquadramento dell'ambito territoriale coinvolto (▼ segnalazioni)

23

3.2 LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE E IDROMETRICHE

Fonti cronachistiche dell'epoca riportano alcune indicazioni sulla durata delle piogge: nel Canavese le precipitazioni si protrassero per 17 giorni e in particolare ad Ivrea la Dora raggiunse il colmo di piena "dopo quaranta ore di pioggia ininterrotta".

3.3 I PROCESSI DI INSTABILITÀ

3.3.1 PROCESSI SULLA RETE IDROGRAFICA

In tutto il Piemonte settentrionale la violenta attività torrentizia dei tributari minori con trasporto solido in massa determinò notevolissimi dissesti allo sbocco nei fondovalle; i corsi d'acqua principali furono caratterizzati da vistosi fenomeni di sovralluvionamento ed ampliamento della sezione di deflusso per accentuata erosione spondale.

Nell'alta Val Toce i bacini dei torrenti Melezzo Occidentale, Anza, Bogna e Divedro risultarono i più colpiti; il torrente Melezzo ampliò notevolmente la sezione di deflusso alluvionando i centri di Trontano e Masera, in Val Divedro e e Val Bognanco la viabilità e diversi nuclei abitativi riportarono gravi danni in seguito a fenomeni di erosione laterale e a processi di alluvionamento.

Nella piana di Domodossola il disalveo in più punti nel settore di conoide dei torrenti Isorno e Bogna e le esondazioni del Toce contribuirono all'allagamento di tutta la zona, con interessamento dell'abitato.

In tutta la Val Anzasca vennero segnalati alluvionamenti torrentizi e fenomeni di erosione, in particolare a Piedimulera il torrente incise un canale secondario in direzione nord, alluvionando con detriti di grande pezzatura i terreni nel territorio di Pallanzeno; a valle della confluenza con l'Anza la fascia di esondazione del Toce interessò terreni coltivi, boschi e abitati (Vogogna) fino alla pianura di Gravellona.

24

L'alta Val Sesia rimase completamente isolata in seguito al crollo del ponte di Balmuccia; nelle valli a monte violenti alluvionamenti torrentizi, talvolta a carattere pulsante per effetto di temporanei sbarramenti d'alveo dovuti a franamenti superficiali, ebbero effetti disastrosi. Le esondazioni interessarono gli abitati di Alagna (disalveo del torrente Otro e del Sesia), Riva (apertura di diverse brecce nell'argine eretto a protezione dell'abitato in seguito a erosione laterale in sponda destra), Scopello e Balmuccia in Val Sesia e di Boccioleto, Carcoforo e Fervento in Val Sermenza.

A valle di Balmuccia il Sesia modificò il proprio alveo incidendo un nuovo canale di deflusso in sinistra a ridosso degli abitati di Vocca e Valmaggia asportando di fatto terreni agricoli e prativi; nel suo corso di pianura il fiume aumentò la propria sezione di deflusso e fenomeni di alluvionamento ed erosione vennero segnalati fino alla confluenza in Po.

Nel bacino pedemontano del Cervo da Andorno Micca fino a Collobiano diffuse esondazioni, spesso con depositi grossolani notevoli, interessarono i comuni attraversati dal torrente; nell'attiguo bacino dell'Elvo a Casanova nuove vie di deflusso vennero incise in seguito al disalveo del torrente mentre più a monte da Borriana a Carisio l'aumento della sezione di deflusso provocò l'inghiaiamento o l'asportazione di terreni coltivabili e boschivi.

La Dora Baltea a monte di Ivrea esondò in

Figura 1. Progetto Interreg IIC Italia-Spagna, esempio della struttura dell'elaborato riferito all'evento alluvionale dell'Ottobre del 1755.

2.2 BANCA DATI SUI DISSESTI NEL VERBANO CUSIO OSSOLA (VCO) – RELAZIONE 2001.

Il servizio Geologico della Regione Piemonte, nell'ambito del programma di continuo aggiornamento e revisione delle informazioni contenute nella Banca Dati Geologica, ha avviato una ricerca sui fenomeni di dissesto storicamente documentati che hanno coinvolto l'area del Verbano Cusio Ossola, finalizzato alla raccolta di dati sugli eventi meteo-idrologici estremi per la determinazione di scenari di rischio rappresentativi. Tale processo ha portato alla redazione da parte di Brunamonte e Vassallo (2001) di una raccolta dei fenomeni di dissesto in tale area.

Nell'insieme è stato analizzato sistematicamente il periodo compreso tra il terzo decennio dell'Ottocento e la fine del Novecento. Per ottenere un quadro significativo a livello dei principali corpi idrici degli eventi più rilevanti, lo studio è stato condotto non solo sul

territorio della Provincia Verbano-Cusio-Ossola, ma a scala dell'intero bacino idrografico di ordine superiore, rappresentanto dal Lago Maggiore.

13. - EVENTO DEL 7-12 NOVEMBRE 1951 (BACINO PADANO)

Sintesi dei dati pubblicati da:

- Servizio Idrografico, *Annali Idrologici 1951*, I e II parte.
- AMBROSETTI W., BARBANTI L., DE BERNARDI R., LIBERA V., ROLLA A. (1994) – *La piena del Lago Maggiore dell'autunno 1993*. Documenta dell'Istituto di Idrobiologia, N. 45, 49 pp..
- ROSSETTI M. (1957) – *La piena del Po del novembre 1951*. Ministero dei Lavori Pubblici, Servizio Idrografico, Annali Idrologici 1951, Parte Seconda, 127-144.

13.1 - Descrizione dell'evento meteorologico (da ROSSETTI, 1957)

Nei giorni 8 e 9 novembre 1951 una perturbazione di origine atlantica provoca sulle regioni settentrionali della penisola precipitazioni sparse, anche intense, a carattere continuo. Nei giorni 12 e 13 si localizza sul Piemonte un'accentuata depressione che, accompagnata da una perturbazione proveniente dal Nord Africa, determina ancora su gran parte dell'Italia Settentrionale, e in particolare, sul Piemonte la ripresa di piogge continue ed estese, seppure di non eccezionale intensità.

L'andamento delle precipitazioni evidenzia gli effetti dell'evoluzione del quadro meteorologico sulla distribuzione dei settori maggiormente coinvolti. Il dominio dell'anticiclone atlantico nei giorni 8 e 9 origina i centri di maggiore piovosità nella zona intermedia del bacino padano –Emilia e Lombardia-, mentre le correnti di aria africana, calda e umida, determinano pioggie più intense massimamente nel Piemonte.

Le precipitazioni maggiori si localizzano nel settore prealpino lombardo e nell'adiacente area piemontese, interessando i rilievi alpini compresi tra il bacino del F. Ticino e la Dora Baltea. I valori di pioggia, seppure considerevoli, non hanno raggiunto limiti notevoli in rapporto alla durata dell'evento. L'evento pluviometrico può essere considerato, quindi, eccezionale soltanto a scala del bacino, per l'estensione dell'area coinvolta e la sua persistenza.

Tab. 13a1 - Precipitazioni orarie rilevate nel bacino afferente al Lago Maggiore

	Intervallo di ore									
	1		3		6		12		24	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
Lago Delio (935 m)	31.4	31 ago	40.6	31 ago	44.4	31 ago	74.4	8 nov	123.0	9 nov
Lavena Ponte Tresa (285 m)	27.0	13 nov	36.2	14 lug	58.0	8 giu	82.0	22 ott	149.0	22 ott
Domodossola (277 m)	29.0	31 ago	42.0	31 ago	57.4	8 ago	81.0	27mag	127.0	10 nov
Gignese (850 m)	22.0	23 giu	39.8	23 giu	54.6	23 giu	128.0	10 nov	221.0	10 nov

CNR – IRPI Rapporto Interno n. 4/2001 - *Caratterizzazione dei principali eventi meteo-idrologici nel Verbano* 43

Tab. 13b2 - Precipitazioni giornaliere (in mm) rilevate nel bacino afferente al Lago Maggiore.

Stazione	Periodo									
	5 nov	6 nov	7 nov	8 nov	9 nov	10 nov	11 nov	12 nov	13 nov	14 nov
S. Gottardo (CH, 2103 m)	4.4	52.4	26.8	56.9	25.3	68.1	63.9	1.3	0.6	2.7
Airolo (CH, 1145 m)	4.2	41.6	39.6	81.4	31.8	122.2	50.3	0.0	0.0	0.0
Mesocco (CH, 785 m)	13.9	41.1	21.1	72.1	9.3	39.9	36.4	1.7	0.0	0.0
Comprovasco (CH, 584 m)	0.6	23.5	34.2	73.4	15.5	69.4	34.0	0.0	0.0	0.0
Biasca (CH, 300 m)	38.4	0.0	58.6	67.1	12.9	98.4	36.6	0.0	0.0	0.0
Braggio (CH, 1332 m)	0.0	22.3	49.9	73.9	17.2	47.8	40.0	0.8	0.0	0.0
Grono (CH, 335 m)	2.1	46.0	65.2	98.0	34.0	70.0	53.4	2.4	0.3	0.0
Bellinzona (CH, 237 m)	0.2	19.2	55.1	67.3	19.6	67.9	36.5	1.6	0.2	0.0
Locarno (CH, 198 m)	0.2	27.3	52.2	78.1	32.4	122.4	67.2	0.2	0.0	0.0
Fusio (CH, 1285 m)	3.3	30.6	32.2	83.0	23.3	104.7	53.0	2.4	0.0	0.0
Cevio (CH, 430 m)	2.0	34.2	40.5	73.9	29.5	109.8	57.2	0.0	0.0	0.0
Crana Torricella (CH, 1010 m)	0.2	36.8	66.9	91.3	52.1	81.2	35.7	9.8	0.0	0.0
Mosogno (CH, 790 m)	4.5	30.5	44.0	86.9	39.4	109.3	77.8	0.0	0.0	0.0
Brissago (CH, 210 m)	0.8	36.6	61.5	90.1	50.0	164.9	68.1	0.0	0.0	0.0
Falmenta (662 m)	Dati non disponibili. Per l'intero mese sono stati stimati 776.0 mm.									
Cannobio (220 m)	0.0	0.4	35.4	61.0	74.2	24.6	3.4	104.2	0.0	0.0
Lago Delio (935 m)	0.0	0.8	38.4	66.6	66.6	62.4	78.0	55.0	0.0	0.0
Cadero (570 m)	0.0	31.0	53.0	82.0	43.0	95.0	65.0	0.0	0.0	0.0
Porlezza (298 m)	0.0	0.0	22.6	61.4	72.0	26.4	49.8	49.0	8.0	0.0
Loggie Valsolda (380 m)	0.0	0.0	22.0	53.0	85.0	40.0	42.0	56.0	8.0	0.0
Monte Brè (CH, 910 m)	0.5	18.0	46.5	44.0	18.0	65.2	65.0	11.0	0.0	0.0
Lugano (CH, 276 m)	0.2	19.9	58.3	82.5	19.8	58.6	58.9	16.8	0.5	0.0
Cuasso al Monte (532 m)	0.0	20.0	90.0	95.0	80.0	70.0	105.0	50.0	0.0	0.0
Lavena Ponte Tresa (285 m)	0.0	0.0	26.2	62.6	84.2	42.2	53.6	63.4	34.4	0.0
Ponte Tresa (280 m)	0.0	27.5	61.4	100.5	43.0	73.0	73.5	20.0	0.0	0.0
Creva (233 m)	0.0	0.0	30.0	55.0	95.0	85.0	69.0	2.0	0.0	0.0
Premeno (810 m)	0.0	7.6	23.8	51.6	54.9	36.4	15.4	7.8	0.0	11.3
Aurano (702 m)	Dati non disponibili. Per l'intero mese sono stati stimati 859.0 mm.									
Cicogna (770 m)	0.0	0.0	33.0	70.0	72.0	70.0	210.0	75.0	0.0	0.0
Miazzina (721 m)	0.0	0.0	50.0	90.0	110.0	110.0	200.0	110.0	0.0	0.0
Cuvio (305 m)	0.0	0.0	30.0	150.0	160.0	70.0	75.0	50.0	25.0	0.0
Vararo (728 m)	0.0	0.5	30.0	70.0	100.0	65.0	107.0	104.0	4.0	1.0
Pallanza (241 m)	0.0	3.8	47.2	126.0	27.0	133.0	78.0	16.3	0.0	0.0
Toggia (2160 m)	0.0	2.0	8.0	13.0	48.0	11.0	71.0	52.0	1.0	0.0
Lago Vannino (2175 m)	0.0	1.0	8.0	13.0	47.0	11.0	70.0	51.0	0.0	0.0
Valdo (1270 m)	0.0	0.0	14.0	22.0	70.0	17.0	118.0	64.0	0.0	0.0
Fondovalle (1210 m)	0.0	0.0	19.0	22.0	65.0	5.0	64.0	40.0	0.0	0.0
Cadarese (725 m)	0.0	0.0	17.0	21.0	73.0	14.0	105.0	64.0	0.0	0.0
Codelago (1875 m)	0.0	1.0	27.0	36.0	68.0	26.0	112.0	64.0	0.0	0.0
Devero (1640 m)	0.0	1.0	27.0	39.0	73.0	30.0	124.0	64.0	0.0	0.0
Goglio (1100 m)	0.0	0.0	21.0	30.0	62.0	30.0	78.0	40.0	0.0	0.0

CNR – IRPI Rapporto Interno n. 4/2001 - *Caratterizzazione dei principali eventi meteo-idrologici nel Verbano* 44

13.2 - Dati idrometrici

Tab. 13c1 – Valori idrometrici e di portata

Corso d'acqua	Sezione	Area bacino (km²)	Altezza idrometrica (m)	Portata (m³/s)	Rilevanza dell'evento	Data	Note
F. Ticino Superiore	Bellinzona	1815	3.09 (valore meridiano)	825 (valore al colmo)	Piena inferiore a quella dell'agosto 1951, con altezza idr. al colmo = 6.60 m. Massima portata al colmo nota in precedenza = 5500 m³/s nel 1868).	11 nov 1951	L'altezza idr. dell'agosto 1951 è prossima alle piene precedenti (8 nov 1905 e 8 ott 1913: liv. al colmo = 6.51 m), tenendo conto della variazione dello zero idr. di - 1.01 m effettuata il 1 gen 1942
Lago Maggiore	Intra		4.05 (al colmo)		Massima piena periodo 1948-85.	12 nov 1951	
F. Toce	Candoglia	1532	3.80 (valore meridiano)	1410 (valore al colmo)	Piena non eccezionale. Massima portata al colmo nota in precedenza = 1930 m³/s).	11 nov 1951	
Lago d'Orta	Omegna	116	3.05 (al colmo)		Massima piena periodo 1941-76.	12 nov 1951	
T. Nigoglia	Omegna	116	2.36 (al colmo)		Massima piena periodo 1948-85.	12 nov 1951	
T. Tresa	Ponte Tresa	615		195 (al colmo)	Massima piena periodo 1923-93.	nov 1951	
Lago di Varese	Darsena Maggiore	111	1.72 (al colmo)	195 (al colmo)	Massima piena periodo 1923-93.	21 nov 1951	
F. Ticino	Sesto Calende	6599	3.78 1° colmo	1560 (valore meridiano)	Piena non eccezionale. Massima portata al colmo nota in precedenza = circa 4500 m³/s (ottobre 1968).	13 nov 1951	
F. Ticino	Sesto Calende	6599	3.74 2° colmo	1560 (valore meridiano)	Piena non eccezionale. Massima portata al colmo nota in precedenza = circa 4500 m³/s (ottobre 1968).	22 nov 1951	

CNR – IRPI Rapporto Interno n. 4/2001 - *Caratterizzazione dei principali eventi meteo-idrologici nel Verbano* 45

Figura 2. VCO 2001, esempio di indagine, completa in ogni sua parte, relativa all'evento del 7-12 Novembre del 1951.

Gli autori hanno così cercato di delineare per ogni evento i caratteri meteorologici, pluviometrici ed idrometrici, con raffronti sulla serie storica di osservazioni esistenti.

La struttura generale dell'esposizione per gli eventi con sufficiente documentazione prevede una descrizione generale del contesto meteorologico con particolari e dettagliati riferimenti (tramite tabelle) ai dati di precipitazione oraria, giornaliera o per periodi cumulati. Seguono, quando disponibili, considerazioni sulla rilevanza relativa dell'evento nella sezione di misura considerata, e tabelle con dati sui corsi d'acqua quali livelli idrometrici al colmo, portate e contributi specifici. Si osserva una particolare attenzione nei confronti dei dati di pioggia, probabilmente dovuta alla maggior quantità di dati disponibili per lo specifico campo.

In Figura 2 (pagina precedente) si riporta un estratto delle informazioni disponibili in Brunamonte e Vassallo (2001) relativamente ad un generico evento pluviometrico intenso.

2.3 FENOMENI DI DISSESTO NEL VERBANO CUSIO OSSOLA (VCO) – RELAZIONE 2000.

La pubblicazione di Brunamonte e Vassallo (2000) presenta le stesse finalità della successiva revisione 2001 precedentemente commentata, ma ha l'indubbio pregio di essere corredata di un preciso e completo lavoro di schedatura sintetica dei singoli eventi. In funzione delle esigenze espresse dai Tecnici dei Servizi Regionali, inoltre, lo studio è stato indirizzato in modo specifico su alcuni settori della provincia del Verbano Cusio Ossola, in particolare è stata esaminata la documentazione relativa ai territori comunali riportati in Tabella 1.

Il complesso delle informazioni raccolte e analizzate ha portato alla stesura delle schede per i vati processi-effetti, localizzati in gran parte con buona precisione sulla cartografia IGM a scala 1:25000. La loro compilazione ha seguito principi fondamentali quali il trasferimento dei dati direttamente dai documenti originali, senza manipolazioni, in modo da consentire analisi obiettive e la conservazione dell'informazione originale; l'inserimento di fenomeni per cui fosse possibile identificare con precisione data ed aree interessate; la verifica della congruità delle informazioni.

Tabella 1. Comuni oggetto dell'idagine.

Antrona Schieranco	Baceno
Bognanco	Craveggia
Crevoladossola	Crodo
Domodossola	Druogno
Formazza	Malesco
Masera	Montecretese
Montescheno	Pieve Vergante
Premia	Re
S. Maria Maggiore	Toceno
Trasquera	Varzo
Viganella	Villadossola
Villette	

In relazione alle modalità di restituzione dei dati concordate con i tecnici dei Servizi Regionali, la catalogazione delle informazioni segue lo standard adottato per la Banca Dati Geologica, in virtù dell'esigenza di una rapida integrazione di questi ultimi nell'archivio SIGEO. Per la stesura delle schede è stato impiegato un file Excel derivante dalla conversione della scheda NEWGEO.

Come si può osservare in figura 3, ogni evento è catalogato secondo una rigorosa serie di campi tematici: al *codice d'ordine* identificativo segue una breve descrizione dell'evento in esame in cui è sempre ben indicata la collocazione temporale; quindi vengono riportati *comune e località* interessate dal fenomeno, affiancate dal *nome del bacino* e del *sottobacino* coinvolti. Segue la *localizzazione geografico-amministrativa*, in cui vengono riportate le coordinate di due vertici, estremi del quadrilatero circoscritto all'area interessata. Infine seguono i campi relativi alle *caratteristiche geomorfologiche* delle aree interessate con diversi sottocampi contenenti la descrizione del fenomeno tramite codici perfettamente corrispondenti al database Newgeo: tra questi ricordiamo quelli facenti capo all'*unità morfologica* (Cresta, versante, fondovalle, conoide ecc), all'*attività* (attività fluviale e torrentizia, processi di instabilità dei versanti, ecc) ed alla *tipologia* del fenomeno (piena, trasporto in massa torrentizio, colate detritiche, crolli incanalati ecc).

CNR - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano, Torino

INFORMAZIONI A CARATTERE GENERALE									FONTI		LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO AMMINISTRATIVA			
CODICE	RIASSUNTO	COMUNE	LOCALITA'	BACINO	SOTTOBACINO	DATA INIZIO	DATA FINE	COMMENTO DATE	FONTE INFORM.	TITOLO INFORMAZIONE	coordinata X MIN	coordinata Y MIN	coordinata X MAX	coordinata Y MAX
ODIC	RIASSUNT_M	COMUNE	LOCALITA	BACINO	SOTTOBAC	DATADA	DATAA	COMMENTO_M	FONTE	TITOLO_M	XMIN	YMIN	XMAX	YMAX
143	Nel corso dell'evento meteo-idrologico del 4-5 settembre 1948 sono distrutti due ponticelli sul T. Ovesca.	Antrona Schieranco	Corso del T. Ovesca nel tratto tra Antronapiana ed il confine con Viganella.	F. Toce	T. Ovesca	19480904	19480905	Data evento.	06	Min. LL. PP.-GC Novara, Domanda 14 novembre 1949 del Comune di Antrona Schieranco intesa ad ottenere il sussidio governativo pei lavori di riparazione delle opere stradali e arginature	431000	5099500	435000	5101500
145	Nel corso dell'evento meteo-idrologico del 4-5 settembre 1948 un ponticello è gravemente danneggiato dalla piena del T. Loranco.	Antrona Schieranco	Ponticello posto lungo il corso del T. Loranco.	T. Ovesca	T. Loranco	19480904	19480905	Data evento.	06	Min. LL. PP.-GC Novara, Domanda 14 novembre 1949 del Comune di Antrona Schieranco intesa ad ottenere il sussidio governativo pei lavori di riparazione delle opere stradali e arginature	431750	5101250	432250	5103250
146	Nel corso dell'evento meteo-idrologico del 4-5 settembre 1948 un ponticello è danneggiato dalla piena del Rio Sayont.	Antrona Schieranco	Ponticello posto lungo il corso del Rio Sayont.	T. Troncone	T. Sayont	19480904	19480905	Data evento.	06	Min. LL. PP.-GC Novara, Domanda 14 novembre 1949 del Comune di Antrona Schieranco intesa ad ottenere il sussidio governativo pei lavori di riparazione delle opere stradali e arginature	429300	5100950		
147	La piena del T. Troncone del 4-5 settembre 1948 danneggia l'argine sinistro del corso d'acqua in corrispondenza dell'abitato di Antronapiana.	Antrona Schieranco	Corso del T. Troncone, argine sinistro in corrispondenza di Antronapiana.	T. Ovesca	T. Troncone	19480904	19480905	Data evento.	06	Min. LL. PP.-GC Novara, Domanda 14 novembre 1949 del Comune di Antrona Schieranco intesa ad ottenere il sussidio governativo pei lavori di riparazione delle opere stradali e arginature	431400	5101100	431700	5101300
148	La piena del T. Ovesca del 4-5 settembre 1948 danneggia l'argine destro del corso d'acqua in corrispondenza dell'abitato di Locasca (Antronapiana).	Antrona Schieranco	Argine destro del T. Ovesca in corrispondenza dell'abitato di Locasca.	F. Toce	T. Ovesca	19480904	19480905	Data evento.	06	Min. LL. PP.-GC Novara, Domanda 14 novembre 1949 del Comune di Antrona Schieranco intesa ad ottenere il sussidio governativo pei lavori di riparazione delle opere stradali e arginature	432875	5100250	433400	5100700

Rapporto Interno n. 25/2000 *Fenomeni storici di dissesto nel Verbano. Prima parte (VCO-1a)* 1

CNR - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano, Torino

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E DESCRIZIONE FENOMENO					CAUSE ED EFFETTI DANNI ED INTERVENTI								
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	TIPOLOGIA MORFOLOGICA	ATTIVITA'	TIPOLOGIA	DINAMICA FENOMENO	TIPO SEGNALAZIONE	EFFETTI	PARAMETRI DIMENSIONALI	A CAUSA DI	DANNI	DESCRIZIONE DANNI	INTERVENTI PROPOSTI	OSSERVAZIONI	AUTORE
CARMORFO_M	MOR	ATTIV	TIPOL	DINAMICA_M	TIPOSE	EFFETT	PARADIM_M	ACAUSADI_M	DANN	DANNITOT_M	INTERPR_M	OSSERV_M	AUTORE
Asta torrentizia del T. Ovesca caratterizzata da un alveo piuttosto inciso.	08	02	14	Piena del T. Ovesca.	02	01		Precipitazioni del 4 5 settembre 1948.	10	Distruzione di 2 ponticelli.	Ricostruzione dei due ponticelli.	Non è precisata nel doc. l'ubicazione dei due ponti.	Brunamonte Fabio
Asta torrentizia del T. Loranco caratterizzata da un alveo piuttosto inciso ed una rilevante pendenza del profilo di fondo.	08	02	14 15	Piena del T. Loranco.	02	01		Precipitazioni del 4 5 settembre 1948.	11	Danneggiamento di un ponticello sul Rio Loranco.	Riparazione ponte.	Non è precisata nel doc. l'ubicazione del ponte.	Brunamonte Fabio
L'asta torrentizia del T. Sayont percorre con inclinazioni elevate il ripido versante Est della Punta Turiggia, sino a sfociare nel Lago di Antrona.	08	02	14 15	Piena del T. Sayont, probabilmente associata a fenomeni di trasporto in massa.	02			Precipitazioni del 4 5 settembre 1948.	11	Danneggiamento dell'impalcato di un ponticello sul Rio Sayont.	Riparazione del ponticello.		Brunamonte Fabio
Sponda sinistra del T. Troncone, nel tratto in cui il corso d'acqua attraversa la parte inferiore dell'accumulo relativo alla grande frana distaccatasi dal M. Pozzuoli nel 1642.	08	02	14	Piena del T. Troncone.	02			Precipitazioni del 4 5 settembre 1948.	08	Danneggiamento dell'argine sinistro del T. Troncone in corrispondenza del capoluogo.	Riparazione dell'argine a difesa dell'abitato del capoluogo.		Brunamonte Fabio
Sponda destra dell'alveo del T. Ovesca caratterizzata da un alveo inciso.	08	02	14	Piena del T. Ovesca.	02	10		Precipitazioni del 4 5 settembre 1948.	08	Danneggiamento dell'argine destro del T. Ovesca in corrispondenza del capoluogo.	Riparazione argine destro a difesa dell'abitato di Locasca.		Brunamonte Fabio

Rapporto Interno n. 25/2000 *Fenomeni storici di dissesto nel Verbano. Prima parte (VCO-1a)* 2

Figura 3. Banca Dati Dissesti VCO (2000) – Esempio di schedatura

Infine, nella categoria *cause ed effetti* e *danni ed interventi* segnaliamo i campi relativi agli *effetti morfologici* (Erosione in sponda o di fondo, disalveamento, alluvione, rigurgito, trasporto solido ecc.) e alla *descrizione danni*, quest'ultimo a carattere discorsivo.

La sinteticità espositiva tipica di un approccio come quello adottato non pregiudica né la completezza né il grado di dettaglio dell'informazione cercata, anche se una classificazione in rigoroso ordine cronologico poteva essere una valida alternativa all'utilizzo del codice d'ordine, peraltro imposto dal requisito di compatibilità con il precedente lavoro NEWGEO.

2.4 GIACOMELLI ET AL. - EVENTI ALLUVIONALI IN PIEMONTE NEL XX SECOLO.

L'archivio di Giacomelli et al. è consultabile on-line all'indirizzo:

http://www.arpa.piemonte.it/statoambiente/dpsir/nuovi/Eventi_naturali/evnat1.htm

e rappresenta una breve sintesi dei più gravi eventi alluvionali che hanno interessato il Piemonte nel XX secolo, dedicando maggiore spazio e approfondimento ai fenomeni alluvionali più recenti, e precisamente a quello del settembre-ottobre 1993, del novembre 1994 e a quelli, meno rilevanti, del luglio e dell'ottobre 1996. (v.a. Bellardone, 1996).

L'esposizione risulta sintetica e a carattere testuale e discorsivo, trattandosi esclusivamente di una serie di notizie inerenti luoghi ed aree interessate dagli eventi in questione. E' abbastanza utile come rapido controllo incrociato con altre fonti più consistenti. In Figura 4 si riporta il contenuto di alcune pagine Web).

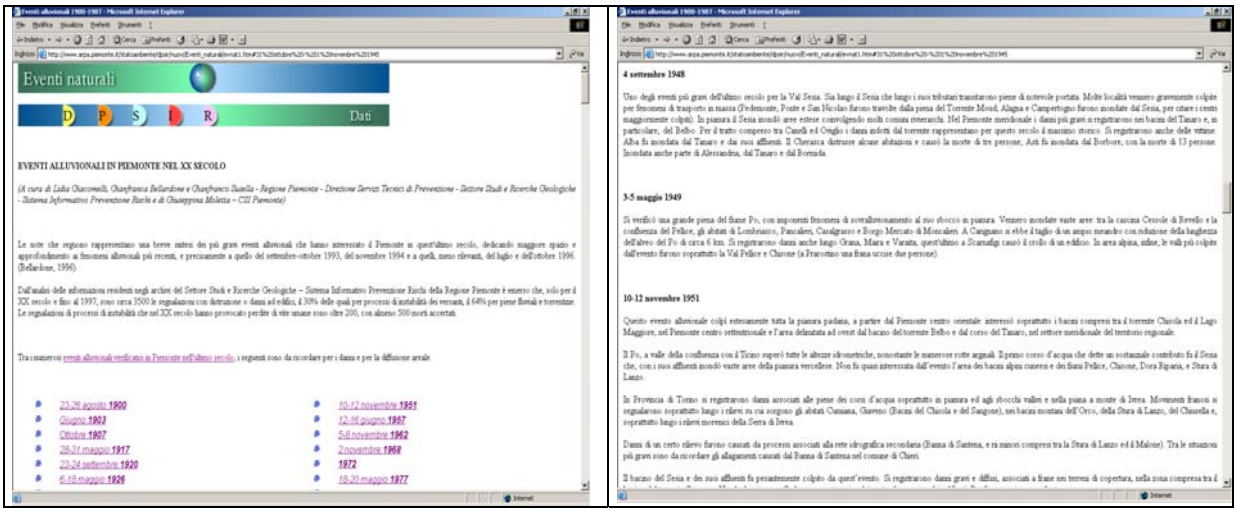


Figura 4. Archivio on-line degli eventi naturali da Giacomelli et al.

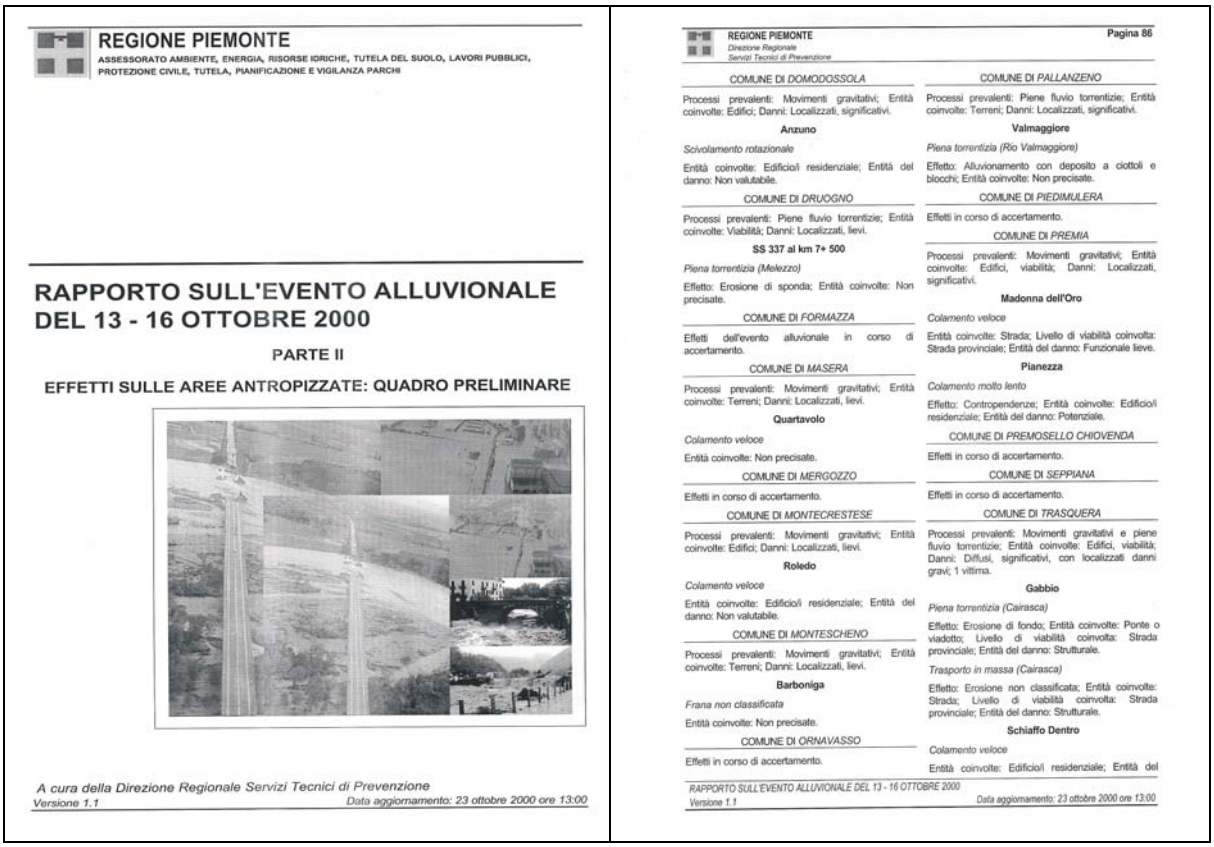
2.5 EVENTO ALLUVIONALE DEL 13-16 OTTOBRE 2000: RAPPORTO DSTP.

La descrizione del quadro dell'accaduto nell'evento dell'ottobre 2000, predisposta dalla Regione Piemonte, Direzioni Servizi Tecnici di Prevenzione, è resa pubblica come tempestivo e utile contributo informativo alle fasi di gestione dell'emergenza e pianificazione degli interventi di ripristino della normalità.

Il rapporto propone una prima descrizione del quadro dei dissesti, destinata ad aggiornamenti continui a seguito della progressiva disponibilità di informazioni acquisite in campo e degli approfondimenti prodotti dalle analisi. Il quadro fornito dal presente rapporto permette, in quest'ottica, di indirizzare l'attenzione sulle situazioni più critiche per la pubblica incolumità, ottimizzando le azioni rivolte all'approfondimento conoscitivo e alla gestione del rischio residuo conseguente all'evento alluvionale.

Il lavoro in questione rappresenta l'unica fonte informativa relativa all'evento dell'Ottobre 2000, non contemplato nella rimanente bibliografia.

E' un'analisi a scala regionale, nella quale vengono innanzitutto presentati in dettaglio gli eventi atmosferici. Ad una sommaria descrizione delle aree vulnerate segue una lunga rassegna dei comuni colpiti (Figura 5) corredata, in ogni caso, da sintetiche ed a volte frammentarie notizie relative alle aree ed ai danni indotti.



REGIONE PIEMONTE

ASSESSORATO AMBIENTE, ENERGIA, RISORSE IDRICHE, TUTELA DEL SUOLO, LAVORI PUBBLICI, PROTEZIONE CIVILE, TUTELA, PIANIFICAZIONE E VIGILANZA PARCHI

RAPPORTO SULL'EVENTO ALLUVIONALE DEL 13 - 16 OTTOBRE 2000

PARTE II

EFFETTI SULLE AREE ANTROPIZZATE: QUADRO PRELIMINARE

A cura della Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione

Versione 1.1 — Data aggiornamento: 23 ottobre 2000 ore 13:00

REGIONE PIEMONTE — Pagina 86

Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione

COMUNE DI *DOMODOSSOLA*

Processi prevalenti: Movimenti gravitativi; Entità coinvolte: Edifici; Danni: Localizzati, significativi.

Anzuno

Scivolamento rotazionale

Entità coinvolte: Edificio/i residenziale; Entità del danno: Non valutabile.

COMUNE DI *DRUOGNO*

Processi prevalenti: Piene fluvio torrentizie; Entità coinvolte: Viabilità; Danni: Localizzati, lievi.

SS 337 al km 7+ 500

Piena torrentizia (Melezzo)

Effetto: Erosione di sponda; Entità coinvolte: Non precisate.

COMUNE DI *FORMAZZA*

Effetti dell'evento alluvionale in corso di accertamento.

COMUNE DI *MASERA*

Processi prevalenti: Movimenti gravitativi; Entità coinvolte: Terreni; Danni: Localizzati, lievi.

Quartavolo

Colamento veloce

Entità coinvolte: Non precisate.

COMUNE DI *MERGOZZO*

Effetti in corso di accertamento.

COMUNE DI *MONTECRESTESE*

Processi prevalenti: Movimenti gravitativi; Entità coinvolte: Edifici; Danni: Localizzati, lievi.

Roledo

Colamento veloce

Entità coinvolte: Edificio/i residenziale; Entità del danno: Non valutabile.

COMUNE DI *MONTESCHENO*

Processi prevalenti: Movimenti gravitativi; Entità coinvolte: Terreni; Danni: Localizzati, lievi.

Barboniga

Frana non classificata

Entità coinvolte: Non precisate.

COMUNE DI *ORNAVASSO*

Effetti in corso di accertamento.

COMUNE DI *PALLANZENO*

Processi prevalenti: Piene fluvio torrentizie; Entità coinvolte: Terreni; Danni: Localizzati, significativi.

Valmaggiore

Piena torrentizia (Rio Valmaggiore)

Effetto: Alluvionamento con deposito a ciottoli e blocchi; Entità coinvolte: Non precisate.

COMUNE DI *PIEDIMULERA*

Effetti in corso di accertamento.

COMUNE DI *PREMIA*

Processi prevalenti: Movimenti gravitativi; Entità coinvolte: Edifici, viabilità; Danni: Localizzati, significativi.

Madonna dell'Oro

Colamento veloce

Entità coinvolte: Strada; Livello di viabilità coinvolta: Strada provinciale; Entità del danno: Funzionale lieve.

Pianezza

Colamento molto lento

Effetto: Contropenderenze; Entità coinvolte: Edificio/i residenziale; Entità del danno: Potenziale.

COMUNE DI *PREMOSELLO CHIOVENDA*

Effetti in corso di accertamento.

COMUNE DI *SEPPIANA*

Effetti in corso di accertamento.

COMUNE DI *TRASQUERA*

Processi prevalenti: Movimenti gravitativi e piene fluvio torrentizie; Entità coinvolte: Edifici, viabilità; Danni: Diffusi, significativi, con localizzati danni gravi; 1 vittima.

Gabbio

Piena torrentizia (Cairasca)

Effetto: Erosione di fondo; Entità coinvolte: Ponte o viadotto; Livello di viabilità coinvolta: Strada provinciale; Entità del danno: Strutturale.

Trasporto in massa (Cairasca)

Effetto: Erosione non classificata; Entità coinvolte: Strada; Livello di viabilità coinvolta: Strada provinciale; Entità del danno: Strutturale.

Schiaffo Dentro

Colamento veloce

Entità coinvolte: Edificio/i residenziale; Entità del

RAPPORTO SULL'EVENTO ALLUVIONALE DEL 13 - 16 OTTOBRE 2000

Versione 1.1 — Data aggiornamento: 23 ottobre 2000 ore 13:00

Figura 5. Rapporto del DSTP della Regione Piemonte sull'evento del 2000.

2.6 PROGETTO AVI: CENSIMENTO DELLE AREE STORICAMENTE VULNERATE DA CALAMITA' GEOLOGICHE ED IDRAULICHE.

Il 23 giugno 1989, con l'Ordinanza n 1751/FPC pubblicata il 4 luglio 1989 sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, venne disposto un contributo straordinario al Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI-CNR) per la realizzazione del censimento degli eventi idrogeologici significativi, da completarsi entro diciotto mesi dal perfezionamento dell'affidamento dell'incarico tecnico-scientifico da parte del C.N.R. L'ordinanza faceva seguito sia alle sollecitazioni della Commissione Grandi Rischi che aveva sollecitato il Dipartimento della Protezione Civile affinché si realizzasse un censimento di tutti gli eventi idrogeologici al fine della zonazione del rischio, sia ad una proposta operativa avanzata dal GNDCI per il conseguimento dell'obbiettivo. Il censimento, noto come Progetto Aree Vulnerate Italiane (AVI), ebbe inizio alla fine del 1991 e fu portato a termine da 17 Unità Operative in poco più di un anno. La fase iniziale consentì di recuperare informazioni su oltre 10000 frane e 5000 inondazioni occorse in Italia nel periodo 1918-1990 secondo le

specifiche tecniche richieste. Queste prevedevano l'acquisizione a scala nazionale delle informazioni attraverso l'analisi di una serie differenziata di fonti analizzate in maniera rigorosamente continua. In seguito alla fase di organizzazione dell'archivio, condotta dal 1993 al 1998, è stato varato un programma triennale 1999-2001 finalizzato all'analisi e all'utilizzo delle informazioni storiche e della loro integrazione con altre informazioni geologiche ed idrologiche.

Le attività svolte fino al 1998 hanno portato alla realizzazione di un archivio e di un catalogo degli eventi calamitosi occorsi in Italia che, pur non rappresentando esplicitamente una mappa del rischio o della pericolosità idrogeologica, consentono di avere una visione sinottica della distribuzione delle catastrofi idrogeologiche avvenute nel paese. In questo senso, essa risulta essere la più accurata ed aggiornata ad oggi disponibile. L'archivio contiene oltre 22.000 informazioni inerenti a frane ed oltre 7500 informazioni inerenti ad inondazioni. Le informazioni si riferiscono ad oltre 18500 località colpite da frane e ad oltre 12000 località colpite da inondazioni.

Informazioni sul progetto AVI, il censimento delle località italiane colpite da frane e da inondazioni sono disponibili all'indirizzo Internet http://avi.gndci.cnr.it.

L'archivio digitale può essere consultato direttamente, accedendo come utenti non privilegiati al sistema informativo del GNDCI. Le informazioni presenti sul sito del C.N.R. sono state utilizzate come test incrociato e strumento di validazione degli eventi già rilevati sulle altre fonti.

Restringendo il campo d'azione ai soli eventi di piena ed alla provincia di interesse del Verbano-Cusio-Ossola, si ottiene un tabulato in cui sono riportate le date dei principali eventi che hanno colpito una data località (Figure 6 e 7) corredata del relativo comune di appartenenza e del codice della scheda di censimento S4.

Tra le voci previste dalla schedatura dell'evento ricordiamo quella, di particolare interesse per il presente studio, *Informazioni generali sull'evento*, costituita, a sua volta, dai campi (Figura 7) *Località colpite*, *Note*, *Bacini* e *Corsi d'acqua*.

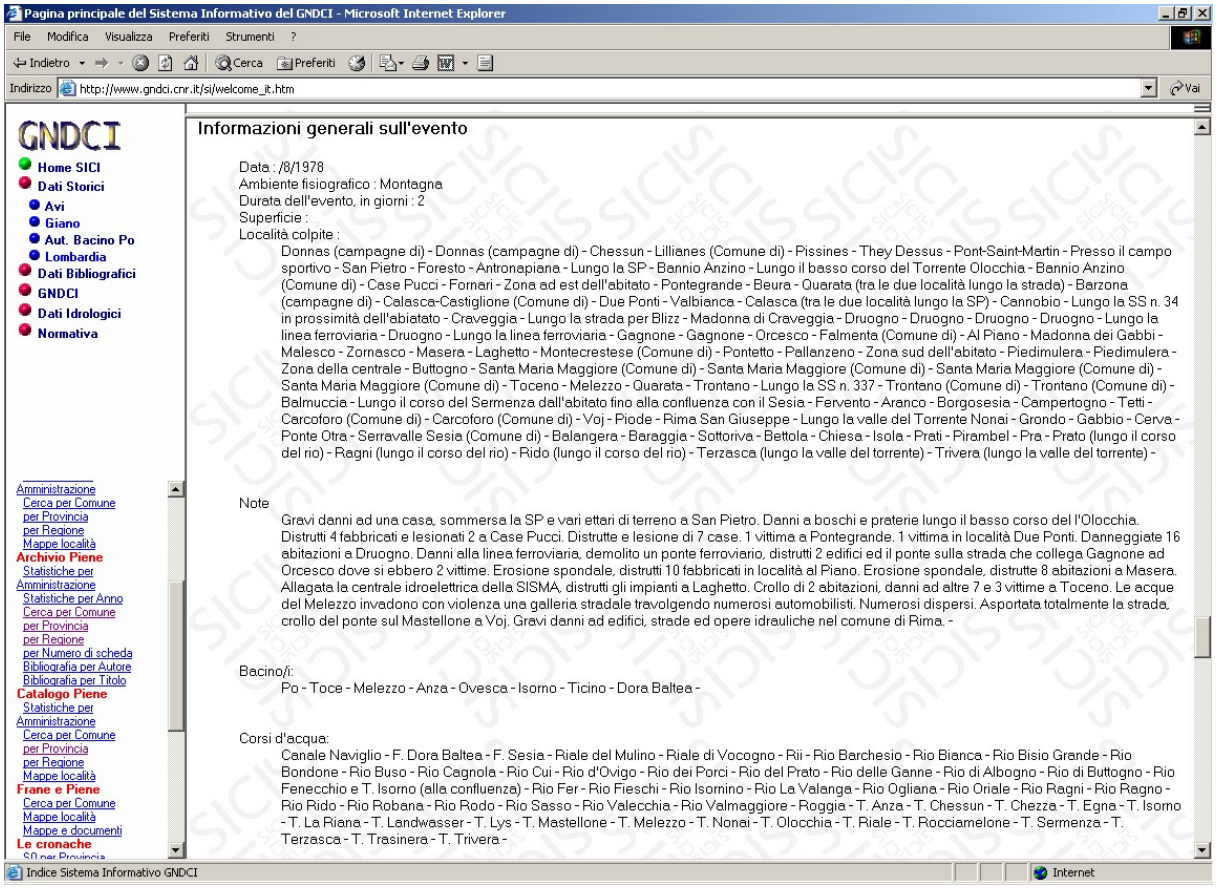
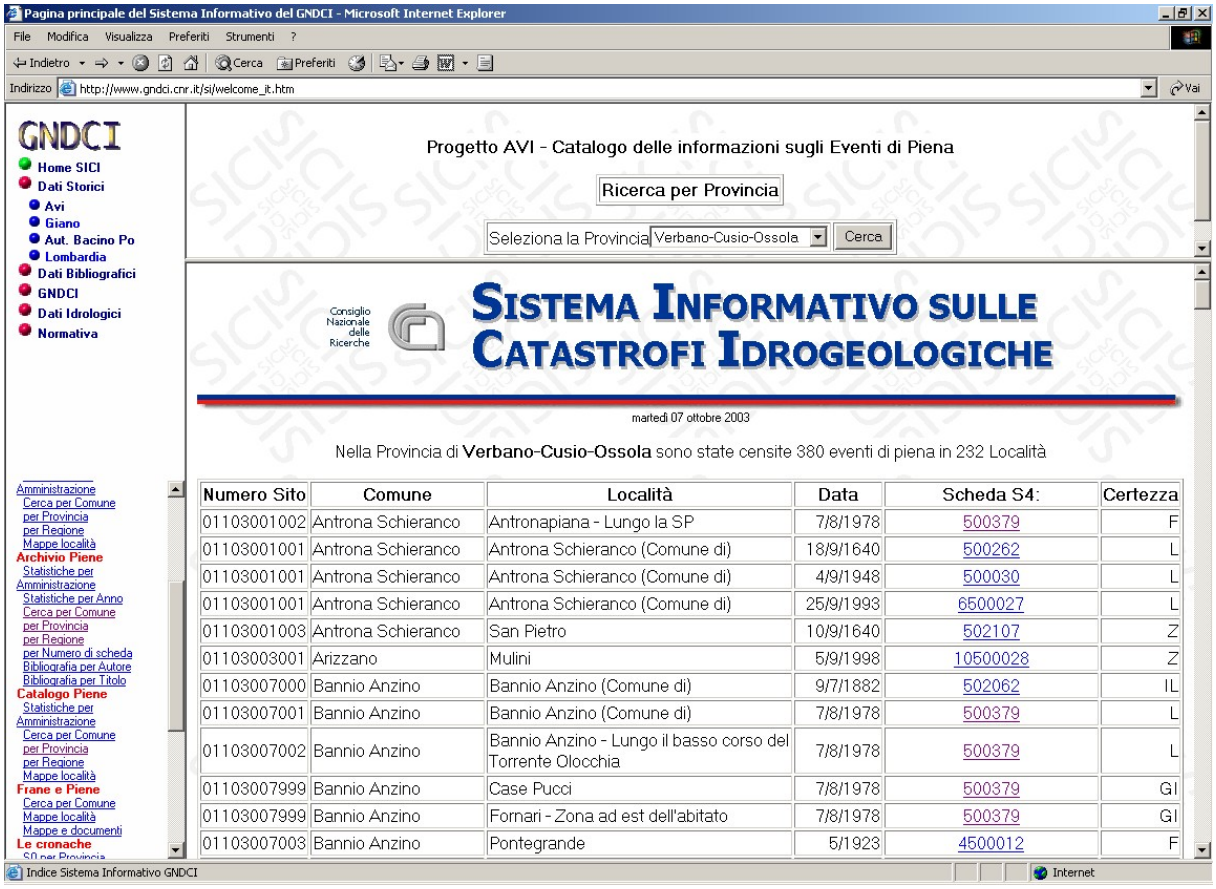


Figura 6. Sistema Informativo C.N.R.- schermata dei risultati della ricerca per provincia dei principali eventi di piena censiti.



Numero Sito	Comune	Località	Data	Scheda S4:	Certezza
01103001002	Antrona Schieranco	Antronapiana - Lungo la SP	7/8/1978	500379	F
01103001001	Antrona Schieranco	Antrona Schieranco (Comune di)	18/9/1640	500262	L
01103001001	Antrona Schieranco	Antrona Schieranco (Comune di)	4/9/1948	500030	L
01103001001	Antrona Schieranco	Antrona Schieranco (Comune di)	25/9/1993	6500027	L
01103001003	Antrona Schieranco	San Pietro	10/9/1640	502107	Z
01103003001	Arizzano	Mulini	5/9/1998	10500028	Z
01103007000	Bannio Anzino	Bannio Anzino (Comune di)	9/7/1882	502062	IL
01103007001	Bannio Anzino	Bannio Anzino (Comune di)	7/8/1978	500379	L
01103007002	Bannio Anzino	Bannio Anzino - Lungo il basso corso del Torrente Olocchia	7/8/1978	500379	L
01103007999	Bannio Anzino	Case Pucci	7/8/1978	500379	GI
01103007999	Bannio Anzino	Fornari - Zona ad est dell'abitato	7/8/1978	500379	GI
01103007003	Bannio Anzino	Pontegrande	5/1923	4500012	F

Figura 7. Sistema Informativo C.N.R.- Schermata relativa ad alcuni campi del modulo schedatura S4.

2.7 MAPPAVI – SUPPORTO INFORMATICO PER LA CONSULTAZIONE DEI DATI RACCOLTI DAL PROGETTO AVI

Il programma MAPPAVI permette di consultare su personal computer, grazie a mappe, grafici e tabelle, un sottoinsieme significativo dei dati raccolti dal progetto AVI (Aree Vulnerate Italiane). I dati riguardano gli eventi di frana e piena verificatisi in Italia dal 1918 al 1994.

Il programma permette di:

- visualizzare le località (siti) in cui si sono verificati eventi di frana o di alluvione, relativamente ad un comune, ad una provincia, ad una regione o all'intero territorio nazionale (si ricorda che la localizzazione dei siti è stata effettuata su carte a scala1:100.000, e quindi con una precisione riferita a questa scala).

- visualizzare i confini amministrativi di regione, provincia e comune ed i limiti dei principali bacini.
- visualizzare una mappa dell'orografia (shaded-relief) quale "sfondo" di mappe di altri oggetti puntuali (siti) o lineari (limiti amministrativi).
- cambiare la simbologia ed il colore degli elementi puntuali (siti di evento), lineari (limiti amministrativi) ed areali (territori comunali, provinciali o regionali) visualizzati sullo schermo.
- ricercare un comune tramite il suo nome completo o una sua parte.
- selezionare un dominio amministrativo (regione, provincia o comune) ed elencare le informazioni relative agli eventi o ai siti di tale area.
- selezionare un sito ed ottenere tutti gli eventi a questo collegati.
- classificare i siti di frana e di piena in funzione del numero degli eventi occorsi.
- classificare e visualizzare, con colori e simboli diversi, i domini amministrativi in base al numero di eventi o di siti.
- creare un "report" per dominio che contiene tutti i dati in modalità testo o in modalità di esportazione verso altri ambienti di dati (database, word processor, fogli elettronici).
- produrre per ogni dominio tabelle statistiche e relativi grafici.
- effettuare delle ricerche temporali per visualizzare gli eventi verificatisi in un certo periodo di tempo.
- calcolare la distanza tra oggetti diversi di una mappa.
- calcolare il numero degli eventi presenti all'interno di una zona definita dall' utente.
- stampare le mappe su stampante o plotter.
- memorizzare una rappresentazione con tutti i relativi parametri, comprensiva di eventuali temi, per poterla ricaricare in una successiva sessione di lavoro.

Una volta visualizzata la regione oggetto di studio è possibile richiedere al software di individuare i siti colpiti dai fenomeni alluvionali con colori diversi a seconda della frequenza con cui sono risultati interessati dai sopradetti eventi (Figura 8).

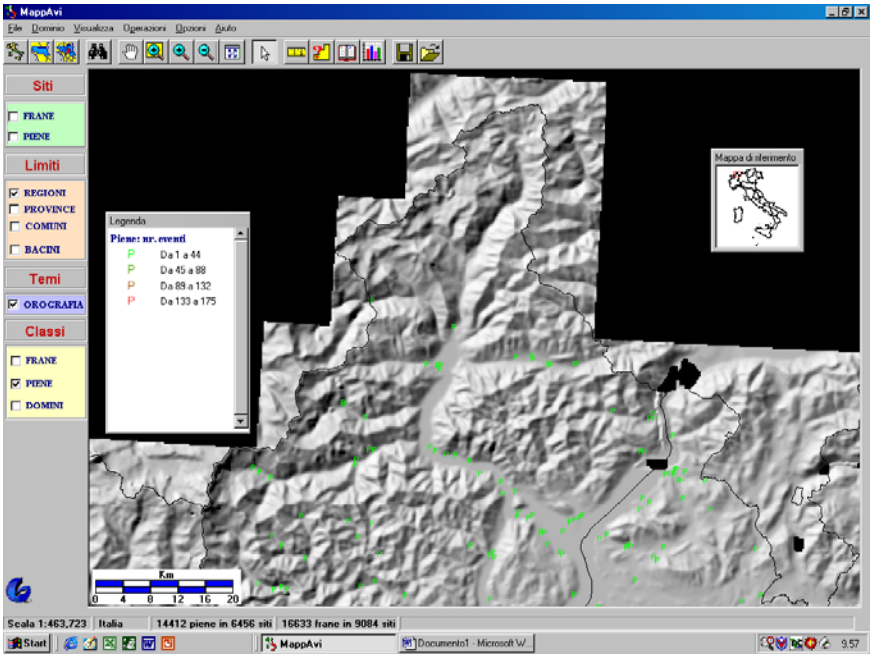


Figura 8. MAPPAVI – Schermata dei siti interessati da eventi alluvionali nella misura come indicato dalla tabella riportata sulla sinistra

Selezionando la simbologia relativa alle piene si ottengono informazioni riguardo gli eventi che le hanno generate (date) ed i nomi delle località colpite (Figura 9).

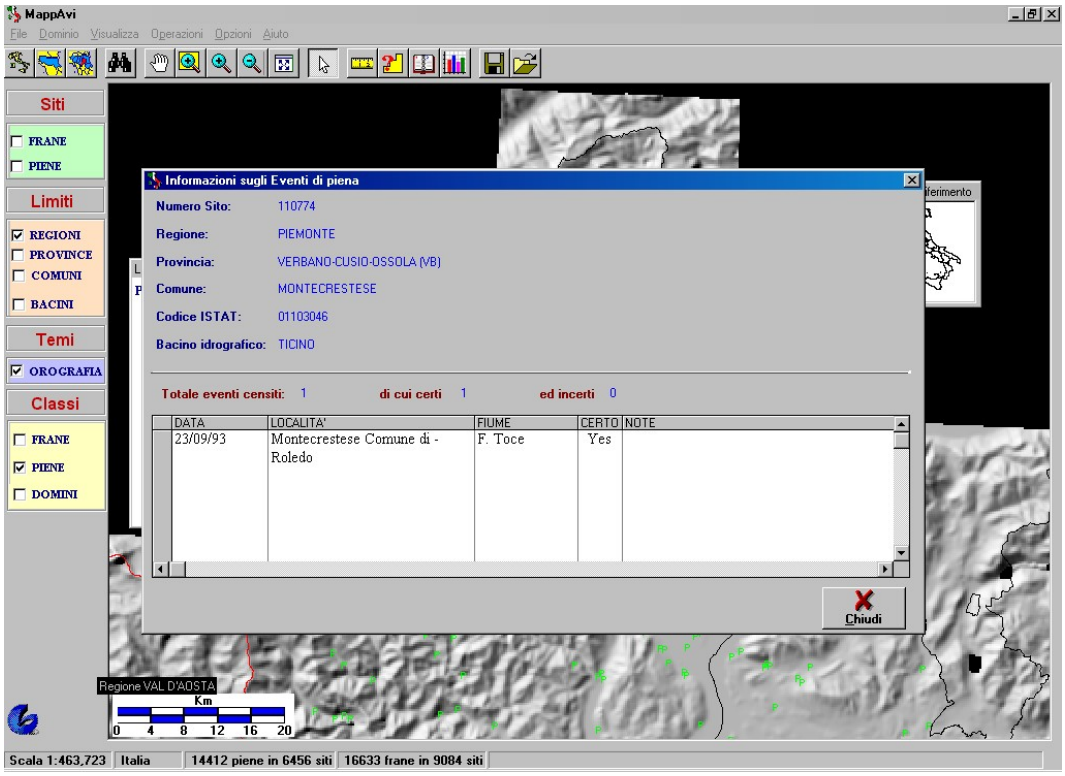


Figura 9. MAPPAVI – Schermata con la finestra relativa alle caratteristiche dell'evento considerato

Infine è possibile effettuare interrogazioni per conoscere gli eventi di piena occorsi in un intervallo di tempo prestabilito (Figura 10).

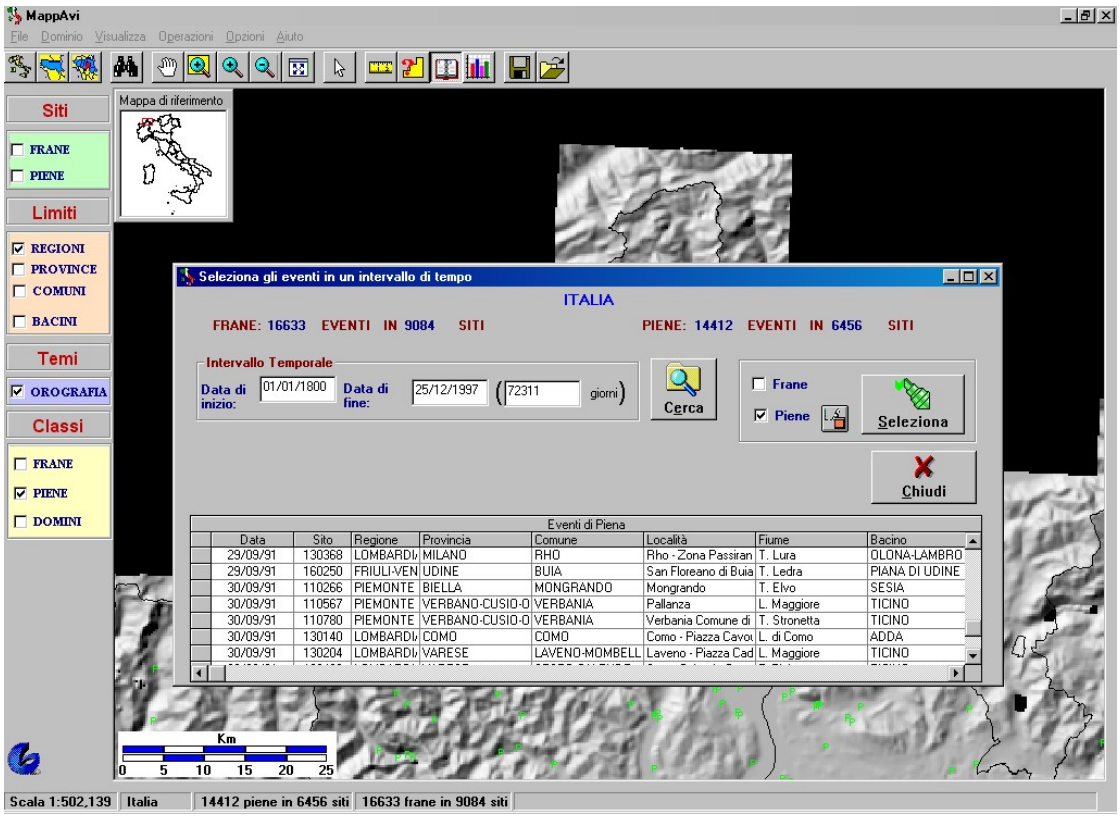


Figura 10. MAPPAVI – Schermata con i risultati della ricerca per intervallo temporale

In abbinamento all'archivio on-line, il software ha permesso un riscontro con le fonti cartacee riguardo il numero ed il tipo di località maggiormente interessate dai fenomeni alluvionali.

2.8 FRANE E INONDAZIONI IN ITALIA (SICI – IRPI)

Il sito web (http://maps.irpi.cnr.it/website/sici/sici_start.htm) , sfruttando tecnologie web-GIS, rende disponibile su Internet le informazioni geografiche su frane ed inondazioni storiche in Italia.

Il sito permette di visualizzare nuove ed aggiornate carte sinottiche, fra le quali:

- carta della localizzazione dei siti colpiti da eventi di frana o da inondazione,
- carta del numero di eventi e di siti censiti in ogni Comune,
- carta della densità degli eventi e dei siti censiti in ogni Comune,

- carta della probabilità di avere nuovi eventi geo-idrologici (frane ed inondazioni) in ogni Comune e per diversi periodi temporali (5, 10 e 25 anni)
- carta degli eventi di frana e di inondazione che hanno prodotto danni alla popolazione.

Il sito permette anche di connettersi direttamente all'archivio AVI , ottenendo tutte le informazioni testuali disponibili su oltre 31.500 frane ed oltre 8500 informazioni di inondazioni.

Le mappe visualizzabili nel sito riportano informazioni su 37.474 località, 21.275 delle quali colpite da frane e 16.199 colpite da inondazioni. Per 21.094 località colpite da frane (99,1%) e per 15.938 località colpite da inondazioni (98,4%) è stato possibile individuare le coordinate geografiche. Gli eventi geo-idrologici censiti sono stati 61.931, di cui 32.316 di frana e 29.614 d'inondazione. Il 22,2% dei siti colpiti da frane (4724), ed il 29,7% dei siti colpiti da inondazioni (4808), sono stati colpiti in modo ricorsivo, ossia più di una sola volta. Sono 6432 (79,4%) i Comuni colpiti da movimenti franosi (59,5%) o da inondazioni (55,2%). Il 35,2% dei Comuni è stato colpito sia da frane che da inondazioni. Per 1671 Comuni (20,6%) non sono disponibili nell'archivio storico informazioni relative a catastrofi geo-idrologiche.

L'archivio delle informazioni storiche relative a frane ed inondazioni è consultabile all'indirizzo Internet http://sici.gndci.cnr.it. Le informazioni contenute nel sito sono risultate molto utili. In particolare, consultando la carta della densità d'evento è stato possibile verificare la sussistenza ed il grado di significatività degli eventi recensiti sulle fonti e reputati, ad analisi ultimata, tra quelli più significativi per il Verbano Cusio Ossola.

Le informazioni sono visualizzabili secondo un cospicuo numero di campi tematici: una volta scelto uno o più *livelli tematici* desiderati attraverso la voce *visibile* (quadrato di selezione), è possibile interrogare il database, su un tema alla volta, selezionandolo fra i molti *visibili* attraverso la voce *attivo.*

La voce *aggiorna* consente di visualizzare su mappa tutti i campi selezionati, numero e tipologia dei quali cambia in funzione della scala di visualizzazione impostata attraverso i comandi-funzione predisposti sulle barre in alto a destra dello schermo (Figure 11, 12, 13).

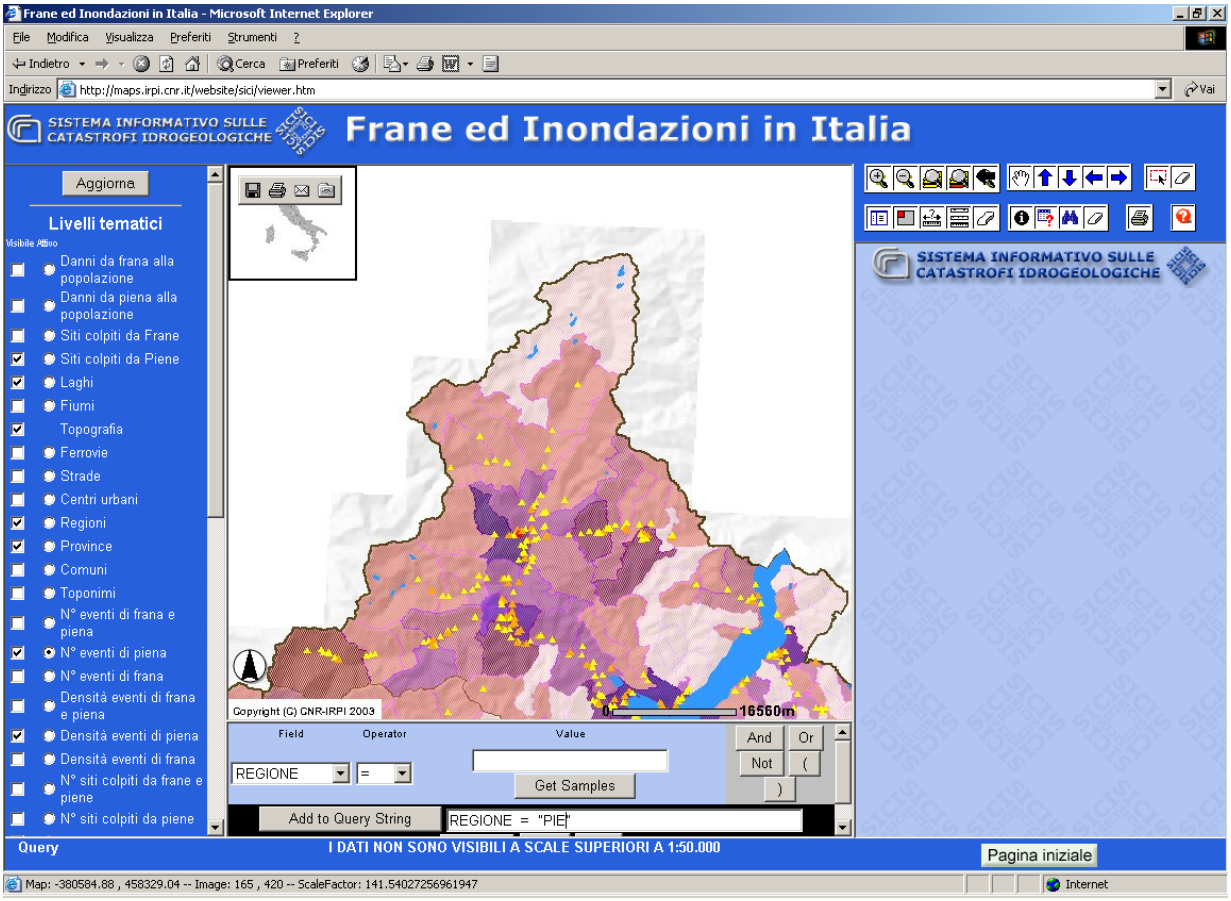


Figura 11. S.I.C.I – Sulle colonne di sinistra i livelli tematici con i relativi simboli di selezione Visibile ed Attivo; al centro la mappa visualizza i campi sull'area di interesse, selezionata, quest'ultima, attraverso il comando posizionato nella prima barra degli strumenti barra il alto a destra. Nell'esempio sono visibili i livelli Siti colpiti da piene, Laghi, N° eventi di piena, Densità eventi piena; il campo N° eventi di piena è inoltre l'oggetto attivo su cui è possibile interrogare il database tramite l'apposito tasto . La finestra di dialogo per l'interrogazione compare sotto la mappa, al centro pagina: nell'esempio si vuole conoscere il numero di eventi occorsi in Piemonte.

Figura 12. S.I.C.I – Risultati della ricerca regionale sul n° di eventi di piena censiti

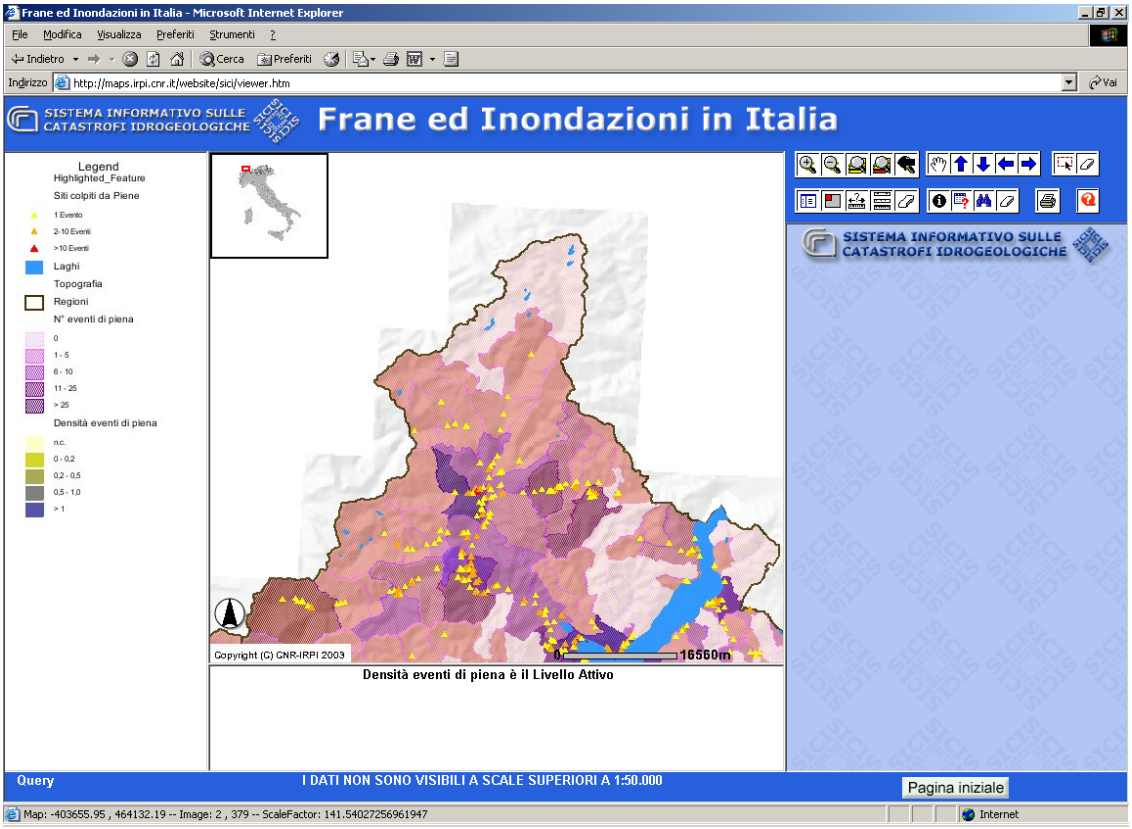


Figura 13. S.I.C.I.- Regione del Verbano Cusio Ossola, mappa dei livelli tematici con legenda esplicativa.

Un utile strumento a disposizione è la possibilità di selezionare i livelli attivi, direttamente sulla mappa, tramite il tasto delle interrogazioni ❶. Ad operazione eseguita vengono visualizzati le informazioni relative alla selezione nella finestra di dialogo (Figura 14). Nell'esempio di Figura 14, relativo al tema *Siti colpiti da piene*, tra i risultati dell'interrogazione è presente un collegamento diretto all'archivio AVI , il quale fornisce informazioni riguardo il nome del sito in questione, Regione, Provincia e Comune di appartenenza nonché la data in cui l'evento si è verificato (Figura 15).

E' stato quindi possibile verificare le corrispondenze con la carta delle aree vulnerate, realizzata autonomamente, nel presente lavoro, a partire dai dati cartacei analizzati.

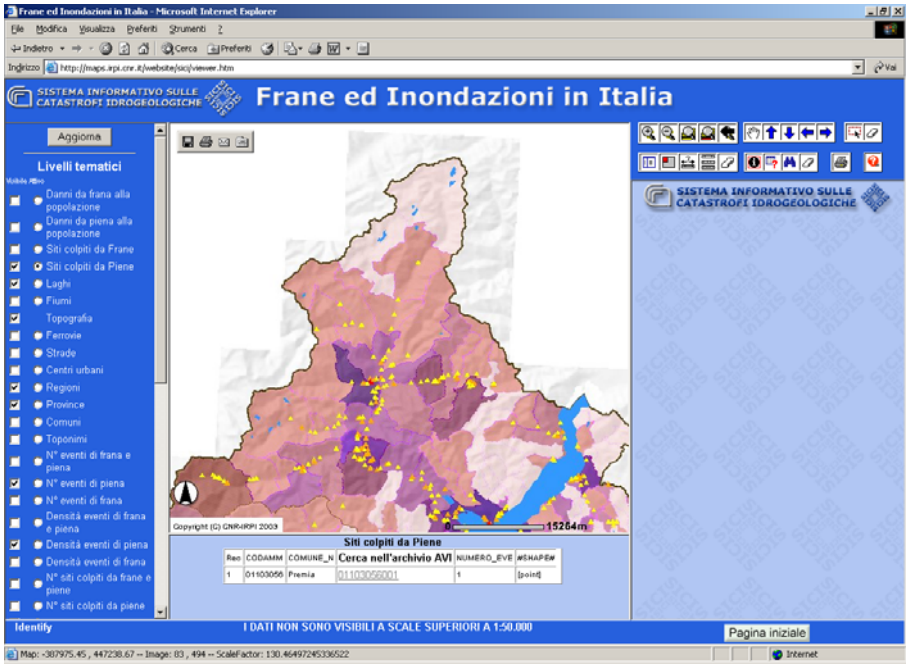


Figura 14. S.I.C.I. – Risultati dell'interrogazione su un particolare sito colpito da una piena

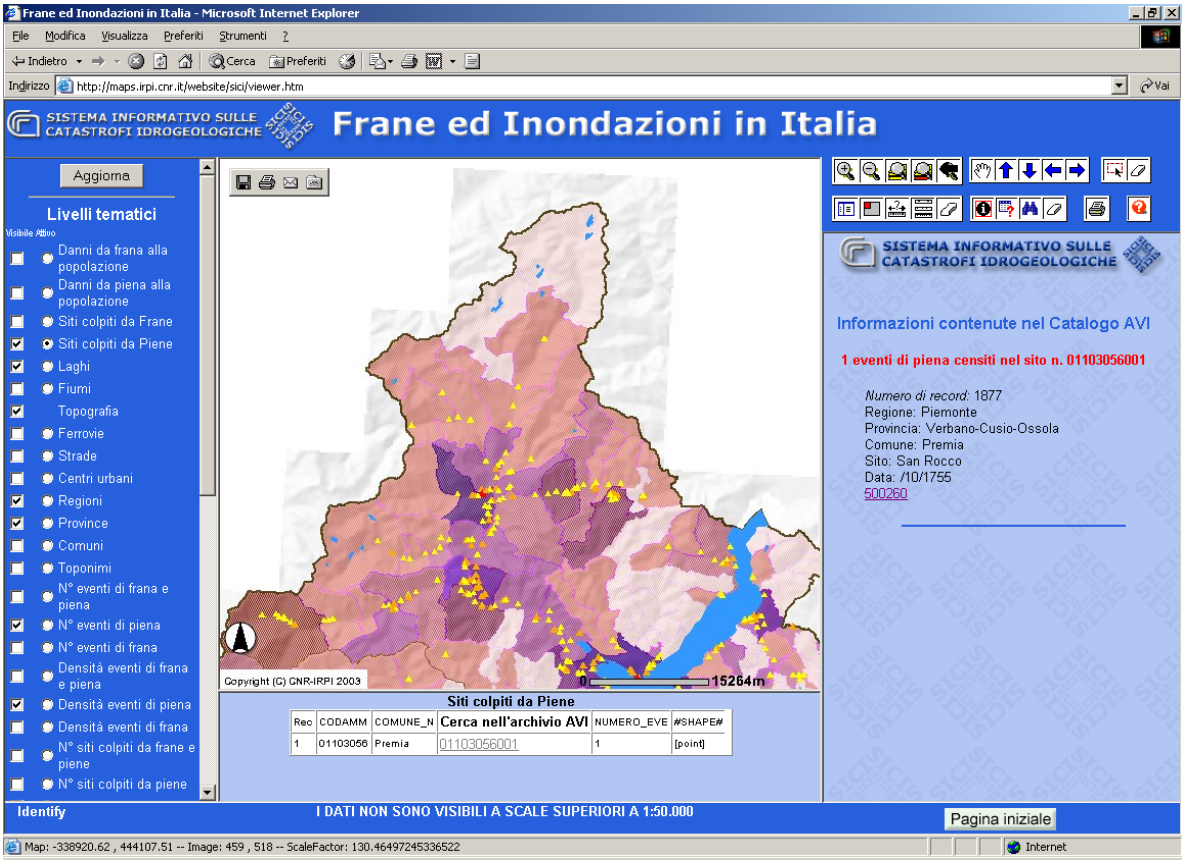


Figura 15. S.I.C.I. – Informazioni (colonna di destra in figura) ottenute direttamente dall'archivio AVI previa selezione del codice numerico riportato nella voce Cerca nell'archivio AVI nella finestra di dialogo (in figura, centro pagina, in basso).

2.9 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL BACINO DEL PO (PAI), REGIONE PIEMONTE, 2001.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Po disciplina le azioni riguardanti la difesa idrogeologica del territorio e della rete idrografica del bacino del Po, attraverso l'individuazione delle linee generali di assetto idraulico ed idrogeologico. Vista la specificità della fonte, questa è stata consultata esclusivamente come complemento al già elevato numero di informazioni disponibili; in particolare si sono individuati solamente dati di portata relativi ad eventi che, a causa della loro minor rilevanza, non sono stati censiti sulle altre fonti.

2.10 ORGANIZZAZIONE DEI RISULTATI COMPLESSIVI DELL'ANALISI STORICA

E' stato approntato un foglio elettronico, riassuntivo dei principali eventi idrologici estremi dalla ricerca contenente, nella prima colonna di sinistra, le date in cui i fenomeni si sono verificati. Le colonne a seguire riportano, i nomi dei principali invasi dislocati sul territorio, corredati di un istogramma recante gli anni di funzionamento dei singoli invasi a partire dalla data di entrata in servizio secondo quanto riportato nella documentazione relativa al catasto delle opere.

Le colonne successive fanno riferimento a quanto emerso dai rapporti d'evento: nello specifico sono in primo luogo riportati i valori di portata massima annua al colmo registrati alla stazione di Candoglia, reperiti sulla pubblicazione 17 del SIMN. Essi rappresentano gli unici dati disponibili per un cospicuo numero di eventi non segnalati estesamente o addirittura assenti sulle fonti; alcuni di questi, a giudicare dall'entità delle portate misurate, si ritiene possano essere degni di nota.

L'ultima porzione della tabella è invece riservata ai principali eventi che dalla bibliografia sono risultati essere particolarmente severi: nelle prime due colonne sono riportati, per ogni data d'evento, le aree interessate dalle esondazioni, evidenziando in grassetto i sottobacini coinvolti e riportando tra parentesi le zone colpite (in corsivo la presenza o meno di vittime). Nella colonna successiva si fa diretto riferimento alle specifiche fonti dalle quali sono state prelevate le informazioni.

Nell'ultima colonna, è riportato un indice di gravità variabile da 0 (evento poco gravoso) a 1, ottenuto come il rapporto tra il numero di bacini tributari coinvolti dall'evento in

esame ed al numero dei bacini coinvolti nel più grave evento rilevato. Questo semplice criterio di classificazione conferma quanto emerge dalla penultima colonna, ossia che l'evento del 2 Novembre del 1968, è stato il più importante tra quelli esaminati, interessando un elevato numero di sottobacini, e facendo registrare sul Toce una delle tre maggiori portate al colmo registrate (superiore ai 2000 m^3/s).

Tramite l'istogramma recante gli anni di funzionamento degli invasi a corredo della tabella (Figura 16) risulta agevole la verifica di un loro eventuale effetto di mitigazione nei confronti delle portate di piena.

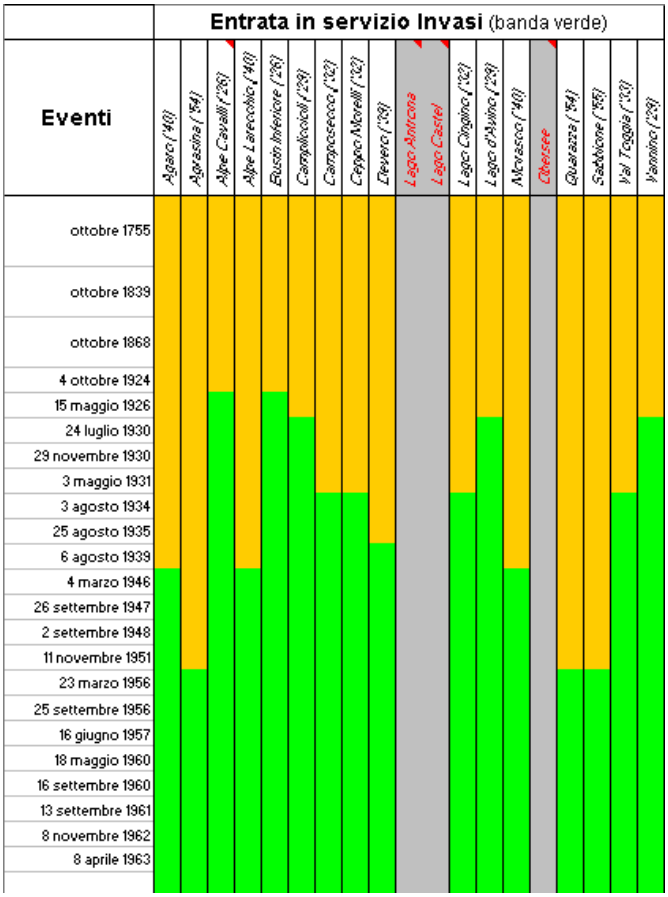


Figura 16. Date eventi ed istogramma funzionamento invasi

2.11 CONSIDERAZIONI SULLE AREE VULNERATE PER MANOVRE OPERE DI SCARICO.

Con la circolare DSTN/2/22806 del 13 Dicembre 1995 *"Disposizioni attuative e integrative in materia di dighe"* viene assegnato all'ex Servizio Nazionale Dighe (oggi Registro Italiano Dighe, R.I.D.) il compito di "*promuovere od acquisire studi sulle conseguenze che hanno sui territori di valle le manovre normali ed eccezionali degli organi di scarico della diga e l'ipotetico crollo della stessa, ai fini della definizione degli scenari degli incidenti probabili, sulla base dei quali dovranno essere redatti dai prefetti i relativi piani di emergenza*".

La normativa, entrata in vigore con la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale n° 56 del 7 Marzo 1996, prevede la consegna obbligatoria al R.I.D. (entro sei mesi dalla pubblicazione), da parte di concessionari, richiedenti la concessione o, in loro assenza, gestori delle opere di sbarramento, dighe di ritenuta o traverse, di specifici elaborati riguardo la mappatura delle aree a rischio da inondazioni conseguenti a manovre degli organi di scarico ed ipotetico collasso.

Ai fini del presente lavoro rivestono particolare importanza gli elaborati riguardanti le fasce fluviali derivanti da onde artificiali per manovra degli organi di controllo delle portate rilasciate in alveo. Le linee guida per la redazione dei suddetti documenti definiscono una precisa casistica delle ipotesi di manovra da adottare; negli studi sono da valutarsi separatamente, in particolare, l'effetto della manovra dei soli organi di scarico profondi e di manovra contemporanea degli organi di scarico superficiali e profondi. Nel caso di manovra congiunta delle due principali tipologie di scarichi, deve verificarsi che lo schema adottato corrisponda effettivamente alla condizione più gravosa nei riguardi del picco della portata complessivamente affluente.

Riguardo le "condizioni iniziali " del sistema, la circolare stabilisce che le analisi numeriche devono tener conto di alveo inizialmente asciutto e di un livello nel serbatoio pari alla quota massima di regolazione. Quest'ultima può essere assunta variabile nel tempo anche se, in qualità di schema semplificato, e per invasi di grandi capacità, si possa assumere costante nel tempo. Sono infine da adottarsi condizioni di manovra di massima rapidità compatibili con il funzionamento, anche anomalo o accidentale, degli organi di scarico, condizione riconducibile, in prima approssimazione, ad aperture di tipo istantaneo.

Nella sezione di Torino del R.I.D è stato possibile reperire la documentazione di cui sopra, in particolare gli elaborati cartografici recanti le aree inondate dal passaggio dell'onda

di piena simulata. Lo spoglio, comprensivo delle note allegate, ha dimostrato come, al tempo della redazione della documentazione e fatta eccezione per alcune aree debolmente colpite e opportunamente segnalate sulla Tavola 3 allegata, le ipotesi di piena artificiale fossero di gran lunga meno gravose rispetto alla pericolosità accertata degli eventi naturali.

Ad oggi, in virtù dell'elevato grado di antropizzazione raggiunto dai corsi d'acqua naturali, tali conclusioni perdono, in parte, di significatività, essendo gli elaborati originali basati su cartografie che, seppur di dettaglio (tipicamente 1:2000), risalgono agli anni '80. Si deve pertanto concludere che, attualmente, bisognerebbe riutilizzare la cartografia aggiornata per poter ritenere prive di conseguenze le aperture degli scarichi così come indicato dalla circolare stessa.

2.11.1 VALUTAZIONE DELLE ZONE A RISCHIO.

In questa fase si espongono i risultati ottenuti dagli studi condotti al fine di individuare il profilo dell'onda di piena artificiale lungo i corsi d'acqua a valle degli sbarramenti esistenti dovuta a manovre sugli organi di scarico.Il calcolo della portata in uscita dal serbatoio, con la quale in seguito determinare le altezze e le conseguenti aree inondabili, è effettuato in base alle disposizioni tratte dalla normativa vigente in materia:

- Decreto Interministeriale 24 marzo 1982 N°466
- D.P.R. 1 novembre 1959 N°1363
- Circolare 28 agosto 1986 N°1125

In base a tali disposizioni, la portata massima in oggetto è valutata in base alle seguenti condizioni al contorno:

- livello idrico all'interno dell'invaso coincidente con il livello di massima regolazione, corrispondente alla quota della soglia inferiore degli sfioratori superficiali;
- portata defluibile contemporaneamente dagli scarichi superficiali e profondi, nonché soltanto da questi ultimi;
- alveo di valle asciutto;
- per invasi di grande capacità si assume il livello costante nel tempo ed apertura istantanea delle paratoie (è perciò esclusa dall'analisi la fase di svaso del serbatoio ed eventuali transitori di funzionamento degli scarichi, corrispondenti al raggiungimento della fase di regime delle portate);

- lunghezza del tratto d'alveo da indagare di circa 20 km, a meno che l'alveo in esame non confluisca in un altro lago o corso d'acqua principale con capacità di ricezione molto maggiore rispetto all'alveo iniziale.

Il calcolo del profilo delle onde di piena è eseguito considerando il fronte a carattere ripido (alveo in accordo alle equazioni di conservazione della massa e del bilancio delle forze) ed il corpo assimilabile ad una corrente unidimensionale gradualmente variata (applicabilità delle equazioni di Saint –Vénant, corrente a superficie libera gradualmente variata, modello cinematico).

Una volta nota la portata massima in uscita dal serbatoio, è possibile, tramite l'adozione del modello esposto al paragrafo precedente, ottenere in ogni sezione l'altezza raggiunta dall'acqua e, conseguentemente, ricavare la fascia che si ipotizza venga inondata durante l'apertura degli organi di scarico.

Tabella 2. Indicazione delle principali aree colpite in seguito a manovra degli organi di scarico.

INVASO	AREE COLPITE
Agaro	Nessuna zona critica da segnalare.
Agrasina	Possibile allagamento della centrale di Cippata.
Alpe Cavalli	Località a sud di Alpe Cheggio: ponte sommerso, esondazioni in sponda destra e sinistra, fabbricati in sponda destra allagati. Confluenza con fiume Toce: fabbricato in sponda sinistra interessato.
Alpe Larecchio	Nessuna zona critica da segnalare.
Busin Inferiore	Nessuna zona critica da segnalare.
Campliccioli	Nessuna zona critica da segnalare (da sottoporre ad ulteriore verifica).
Camposecco	Nessuna zona critica da segnalare.
Ceppo Morelli	Nessuna zona critica da segnalare.
Devero	Località Capriolo: possibili allagamenti. Località Osso-Ponte: ponte della viabilità principale sommerso.
Lago Antrona	Invaso naturale, non sottoposto a verifiche.
Lago Cingino	Nessuna zona critica da segnalare.
Lago Castel e Val Toggia	Area a monte della cascata: esondazioni in sponda destra e sinistra con sommersione del ponte di attraversamento.
Lago d'Avino	Nessuna zona critica da segnalare.
Morasco	Area a monte della cascata: esondazioni in sponda destra e sinistra con sommersione del ponte di attraversamento. Località Ponte (centro abitato): esondazioni in sponda destra.
Obersee	Nessuna zona critica da segnalare.
Quarazza	Nessuna zona critica da segnalare.
Sabbione	Nessuna zona critica da segnalare.
Vannino	Località Valdo (centro abitato): interessato ponte della viabilità principale. Località San Michele (centro abitato): interessato ponte della viabilità principale.

Si ricorda che alla base dei calcoli eseguiti sono state fatte delle ipotesi che è bene puntualizzare. Queste sono riconducibili principalmente al fatto che si è supposto l'alveo asciutto, trascurando gli eventuali apporti laterali nel tratto di alveo esaminato (comunque di difficile quantificazione) e sui coefficienti di scabrezza, di cui si sono considerati i valori medi insistenti nel tratto considerato tra due sezioni successive.

I risultati esposti, comunque, presentano un livello di imprecisione modesto che, oltretutto, può anche essere giustificato dal fatto che la maggior parte degli invasi in esame è posto ad una cospicua distanza dai centri abitati, garantendo che l'onda di piena generata sia assorbita dal tratto d'alveo compreso tra l'invaso e la sezione principale considerata.

Dall'analisi dei risultati forniti, si nota che solo in pochi casi sono segnalati danneggiamenti ad opere di una certa importanza. Nella maggior parte dei casi le esondazioni hanno interessato zone non antropizzate, o elementi della viabilità secondaria, come guadi, attraversamenti di modesta entità, passerelle pedonali,…

Le principali zone critiche individuate, oltre che rappresentate sulla corrispondente cartina in allegato, possono essere riassunte nella seguente Tabella 2.

3 INDICI SPEDITIVI PER LA VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'EFFETTO DI LAMINAZIONE

3.1 PREMESSA

Al fine di saggiare le potenzialità di un invaso in relazione al controllo delle piene, può risultare utile costruire indici speditivi di efficienza senza eseguire i calcoli approfonditi che l'effetto di laminazione richiede. Nella valutazione di tali indici conviene tener presente che la posizione relativa dei singoli invasi (in serie od in parallelo rispetto alla rete idrografica di appartenenza), gioca un ruolo molto importante. Non a caso si può notare, ad esempio, che ad elevata distanza relativa tra l'invaso e la sezione in cui si valuta l'effetto di laminazione si può avere anche un annullamento degli effetti dell'invaso stesso a causa degli apporti dalle aste fluviali laterali.

Tali indici dovranno quindi fornire indicazioni sia sul grado di abbattimento dell'onda di piena immediatamente a valle dell'invaso, sia sul presumibile effetto di laminazione nei territori a valle dell'invaso, ma distanti da esso, sia sulla capacità laminativa di più serbatoi considerata in una sezione a valle di essi.

Come emerso da diversi lavori (Supino (1967), Marone (1971), Pianese e Rossi (1977), Piga et al. (2000)), le caratteristiche dell'invaso che maggiormente influenzano l'effetto della laminazione sono:

- eventuale volume specificamente destinato alla laminazione;
- superficie del lago;
- dimensioni degli organi di scarico.

Il volume destinato alla laminazione, rappresenta il volume della piena che può essere invasato durante l'evento. La geometria degli scarichi fornisce indicazioni sulle portate evacuabili dal serbatoio. La superficie del lago, infine, se viene moltiplicata per l'altezza massima di sfioro o per il generico carico sulla soglia nel caso di scarico a battente, fornisce comunque un volume di laminazione. In assenza di indicazioni di dettaglio sulla destinazione di volumi specifici alla laminazione delle piene, si assume come rappresentativa della capacità laminativa la superficie del lago, in quanto è ipotizzabile che il fenomeno della laminazione sia gestito in non più di un paio di metri di variazione del livello idrico, quindi con superficie del lago poco variabile.

Tali caratteristiche geometriche vengono combinate con le caratteristiche del bacino maggiormente connesse all'entità delle onde di piena, ossia, in primis, l'estensione del bacino

stesso. Il criterio base è che invasi con piccola superficie del lago e superficie del bacino sotteso molto grande, risulteranno meno adatte alla laminazione rispetto a invasi con grande lago e piccolo bacino sotteso.

Nella definizione di questi indici si è sempre utilizzata l'are del bacino imbrifero direttamente sotteso, senza comprendere volutamente quella dei bacini imbriferi direttamente allacciati. C'è da notare, infatti, che il bacino imbrifero direttamente sotteso risultano essere quello individuato dalla sezione di chiusura corrispondente al corpo diga, costituito dalla superficie che insiste direttamente su tale sezione. Il bacino imbrifero direttamente allacciato, invece, risulta esterno al primo ed è costituito da tutti i bacini imbriferi individuati tramite opere di intercettazione su altri corsi d'acqua, le cui portate sono in tutto od in parte deviate tramite condotte artificiali verso l'invaso in esame. Quest'ultima tipologia di bacini è trascurata, in quanto si ipotizza che durante un fenomeno di piena rilevante, i trasferimenti di portata tra bacini attigui sia sospeso, al fine di evitare l'intasamento di tali condotte da parte del materiale eventualmente trasportato.

3.2 INDICE DEL RAPPORTO TRA LE AREE DEI BACINI SOTTESI

Il primo indice proposto si basa appunto sul rapporto tra la superficie del lago di invaso e la superficie del bacino imbrifero sotteso dallo sbarramento, come ad esempio indicato da Villani (1998), il quale propone, per avere una consistente riduzione del colmo di piena, di avere un rapporto:

$$\frac{S_{Bacino\ Imbrifero}}{A_{Lago}} \leq 50 \qquad (1)$$

o, equivalentemente, avere una superficie del lago maggiore del 2% della superficie del bacino sotteso.

Si tratta ovviamente di una indicazione che vale per le zone a valle di un singolo invaso e poste nelle sue immediate vicinanze. Nella Tabella 4 si riportano i risultati ottenuti per ogni singolo invaso, confrontati con l'indice FARL definito al paragrafo successivo, mentre la Tavola 4 fornisce indicazioni qualitative utili in relazione a questo indice.

3.3 INDICE FARL.

Come secondo indice viene proposto il Flood Attenuation by Reservoirs and Lakes (FARL), proposto da Scarrott et al. (1999) in base alle relazioni intercorrenti tra la superficie del lago, l'area del bacino imbrifero sotteso dall'invaso e l'area del bacino sotteso dalla sezione nella quale si vuole valutare l'indice come specificato nella Figura 17.

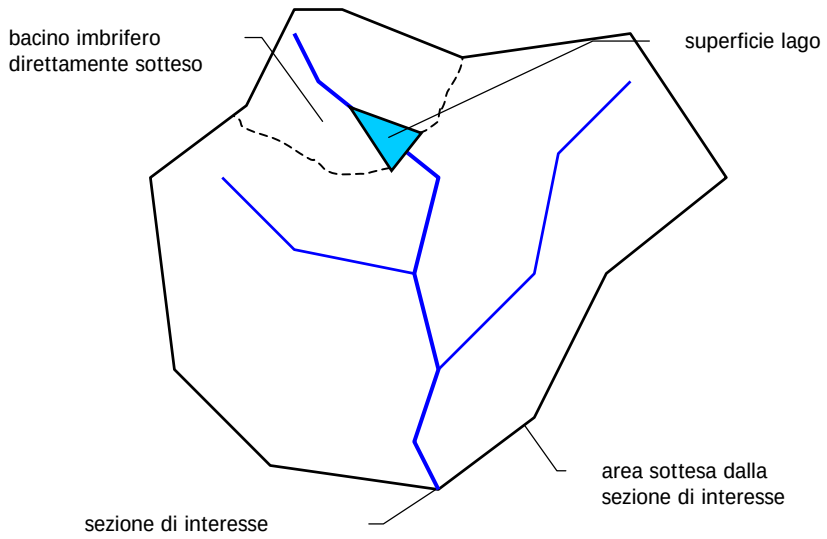


Figura 17: Aree caratteristiche del bacino necessarie all'individuazione dell'indice FARL.

Con riferimento alla Figura 17, l'indice α che descrive l'effetto degli invasi può essere così definito:

$$\alpha = \left(1 - \sqrt{r}\right)^{w} \qquad (2)$$

in cui r considera il rapporto tra le aree del lago e del bacino, ossia

$$r = \frac{\text{superficie del lago}}{\text{area bacino sotteso dall'invaso}}; \qquad (3)$$

mentre w riflette l'importanza del bacino direttamente sotteso dalla diga in relazione all'area del bacino esterno, cioè

$$w = \frac{\text{area bacino sotteso dall'invaso}}{\text{area del bacino sotteso alla sezione di interesse}} \qquad (4)$$

Da tale definizione, si riscontra facilmente che per un invaso posto immediatamente prima della sezione di chiusura di interesse, si ha $w = 1$.

In base al significato dei simboli si comprende come l'indice α assuma valori tanto più piccoli, quanto più è elevata la capacità di laminazione dell'onda di piena.

Nel caso in cui in uno stesso bacino idrografico siano presenti più invasi, diventa necessario poter comporre tra di loro gli indici α calcolati per ogni singolo bacino. A tal proposito, Scarrott et al. (1999) propongono di calcolare l'indice FARL come prodotto dei valori individuali degli indici locali, secondo la relazione

$$FARL = \prod_{i}^{n} \alpha_i \qquad (5)$$

in cui *n* rappresenta il numero totale di invasi presenti. Dati *n* invasi, quindi, si calcola per ognuno il valore di α alla sezione di interesse. I singoli valori ottenuti sono moltiplicati tra loro ottenendo, tramite la (5), l'indice FARL richiesto.

L'indice FARL, può assumere anch'esso valori compresi tra zero ed uno, con lo stesso rapporto tra valore dell'indice ed attenuazione dell'idrogramma di piena che si ha per α: minore è il FARL, maggiore è l'effetto di attenuazione. L'indice FARL, a parità di caratteristiche dei singoli invasi, diminuisce con il crescere del numero di invasi a monte. Va ancora aggiunto che tale indice non è influenzato da eventuale presenza di invasi all'interno delle aree sottese da altri invasi.

Fornite le indicazioni necessarie al calcolo dei due indici appena introdotti, si può effettuare un confronto diretto tra i due, calcolando l'indice α per un rapporto tra la superficie del bacino sotteso e quella del lago pari a 50. Una volta stabilito che per $\frac{S_{Bacino\ Imbrifero}}{A_{Lago}} = 50$ si $r = 0.02$ considerando la sezione di chiusura posta in corrispondenza dello sbarramento, per la quale si ricava $w = 1$, per cui, in base alla (2) la condizione di efficienza del primo indice porta ad un valore

$$\alpha = \left(1 - \sqrt{r}\right)^{w} = 0.8586 \qquad (6)$$

3.4 CALCOLO DEGLI INDICI SPEDITIVI NEL BACINO DEL FIUME TOCE

Nel particolare caso considerato, il bacino del fiume Toce, tra i due indici proposti risulta essere di maggiore rilevanza il FARL in quanto, nel suo territorio, si ha una notevole presenza di invasi posti in territori di alta montagna con particolari configurazioni in serie, tali per cui, più che un indice che rilevi le caratteristiche di risposta in prossimità dell'invaso, è necessario poter stabilire le proprietà in caso di funzionamento sincrono degli stessi. L'indice proposto tramite la (1), comunque, non viene trascurato, in quanto valori bassi forniti dalla (1) individuano gli invasi dalla cui gestione si possono ottenere ulteriori benefici nei confronti della laminazione. In base alle indicazioni fornite, quindi, si esegue il calcolo dei vari indici in alcune posizioni particolari, fornendo anche alcune tavole in cui è fornita la loro rappresentazione grafica.

Tabella 3. Dati caratteristici dei singoli invasi utilizzati nella definizione degli indici.

CODICE	INVASO	Sup. del lago [km²]	Sup. bacino imbrifero direttamente sotteso [km²]
1	Agaro	0.650	10.977
2	Agrasina	0.014	17.827
3	Alpe Cavalli	0.467	23.737
4	Alpe Parecchio	0.183	3.020
5	Busin Inferiore	0.336	2.539
6	Camplicciolì	0.324	35.191
7	Camposecco	0.383	4.079
8	Ceppo Morelli	0.040	120.100
9 a – 9 b	Devero	0.960	25.377
10 a – 10 b	Lago Antrona	0.258	42.666
11	Lago Cingino	0.140	3.057
12	Lago Castel	-	-
13	Lago d'Avino	0.430	5.316
14	Morasco	0.650	35.257
15 a – 15 b	Obersee	0.210	2.632
16	Quarazza	0.028	25.809
17	Sabbione	1.210	14.367
18	Val Toggia	0.810	10.323
19	Vannino	0.480	11.936

Nella Tabella 3 sono richiamate le principali caratteristiche di ogni invaso, necessarie al calcolo degli indici proposti. Si ricorda che l'invaso di Devero è composto di due paramenti murari, identificati come Devero-Codelago e Devero-Forcoletta (rispettivamente "9 a" e "9

b”), di cui solo il primo è dotato di opere di scarico, mentre il secondo chiude una valle laterale in corrispondenza del lago. La stessa tipologia strutturale si ha anche per l’invaso di Obersee, diviso in Obersee Lago (15 a) e Obersee Sinistro (15 b), di cui solo il primo dotato di opere di scarico, oltre che per il Lago Antrona, diviso in Lago Antrona “A” (10 a) e Lago Antrona “B” (10 b), con il primo dotato di una soglia sfiorante.

L’invaso di Lago Castel, per motivi strutturali (paramento murario danneggiato), non è più utilizzabile per invasare volumi. La sua presenza nei vari elenchi, è comunque mantenuta, in quanto si tratta comunque di un opera di notevole impatto presente nel territorio. Tale invaso al momento è vuoto, con ridottissime capacità di immagazzinamento dei volumi: si considera, per tale motivo, ininfluente nei confronti di un qualsiasi evento di piena.

Note tali grandezze, è possibile calcolare i due indici (relazioni (1) e (5)) in corrispondenza di ogni singolo invaso. I valori ottenuti per l’indice in (1), sono riportati in Tabella 4 ed indicati graficamente sull’allegata “Tavola 4: Rappresentazione schematica della superficie del lago e del bacino sotteso”.

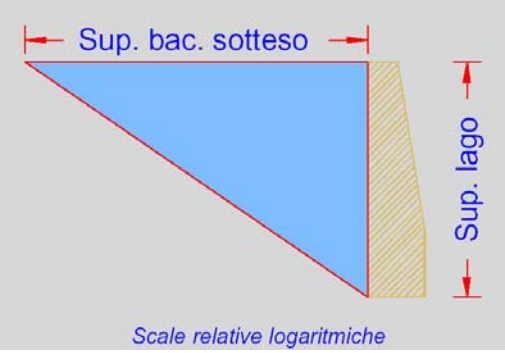


Figura 18. Simbologia utilizzata nella Tavola 4 per indicare i risultati ottenuti tramite l’indice riportato nell’equazione (1).

In questa tavola, al fine di esaltare il confronto tra due valori di area molto diversi tra loro, si è scelto di rappresentare in scala logaritmica le aree sottese, utilizzando diagrammi tipo quello riportato in Figura 18. I bacini con caratteristiche migliori presentano nel simbolo di Figura 18 una dimensione verticale prevalente rispetto a quella orizzontale.

Tabella 4. Rapporto tra la superficie del lago (Area Lago) e la superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso da ogni sbarramento (Sup. Bac.) ed indice FARL in corrispondenza dell'invaso.

CODICE	INVASO	Sup. Bac. / Area Lago	Area Lago / Sup. Bac.	FARL
1	Agaro	16.4	6.1 %	0.757
2	Agrasina	1782.7	0.1 %	0.972
3	Alpe Cavalli	50.5	2.0 %	0.860
4	Alpe Larecchio	15.9	6.3 %	0.754
5	Busin Inferiore	164.1	0.6 %	0.636
6	Camplicciolì	7.5	13.4 %	0.904
7	Camposecco	106.6	0.9 %	0.694
8	Ceppo Morelli	10.7	9.3 %	0.982
9a – 9b	Devero	2402.0	0.0 %	0.806
10a – 10b	Lago Antrona	24.6	4.1 %	0.922
11	Lago Cingino	20.4	4.9 %	0.786
12	Lago Castel	-	-	-
13	Lago d'Avino	11.8	8.5 %	0.716
14a – 14b	Morasco	53.4	1.9 %	0.864
15	Obersee	11.4	8.7 %	0.718
16	Quarazza	860.3	0.1 %	0.967
17	Sabbione	11.5	8.7 %	0.710
18	Val Toggia	12.4	8.0 %	0.720
19	Vannino	24.4	4.1 %	0.799

Tra i serbatoi presenti, tredici su un totale di diciannove presentano un ottimo rapporto area lago – area bacino, evidenziato anche da un basso valore dell'indice FARL. Si può ipotizzare, quindi, che, almeno in prossimità di tali invasi, l'effetto di abbattimento delle onde di piena sia cospicuo. Il secondo passo consiste nel calcolo dell'indice FARL in corrispondenza di diverse sezioni poste sull'asta del fiume Toce, fino al lago Maggiore (Tabella 4). Considerando che il bacino imbrifero complessivo sotteso occupa una superficie di 1783.3 km², si ottiene che l'effetto di laminazione previsto è irrilevante, come era da aspettarsi in relazione alle piccole aree dei bacini sottesi dagli invasi.

Nella successiva Tabella 5 si riportano i risultati ottenuti per quest'ultimo caso indicato. Per ogni invaso è stato calcolato l'indice α indicato in (2), considerando la sezione di interesse in corrispondenza della foce del fiume Toce (area totale di 1783.3 km²). Successivamente, in base alla (5) si è calcolato l'indice FARL come prodotto dei singoli valori di α trovati, ottenendo, in totale, FARL = 0.976.

Per il Lago Castel si è assunto un indice a pari ad 1, corrispondente a non avere laminazione alcuna.

Tabella 5. Valutazione dell'indice FARL con sezione di chiusura al Lago Maggiore.

CODICE	INVASO	INDICE α
1	Agaro	0.998
2	Agrasina	1.000
3	Alpe Cavalli	0.998
4	Alpe Larecchio	1.000
5	Busin Inferiore	0.999
6	Campliccioli	0.998
7	Camposecco	0.999
8	Ceppo Morelli	0.999
9a – 9b	Devero	0.997
10a – 10b	Lago Antrona	0.998
11	Lago Cingino	1.000
12	Lago Castel	1.000
13	Lago d'Avino	0.999
14a – 14b	Morasco	0.997
15	Obersee	1.000
16	Quarazza	1.000
17	Sabbione	0.997
18	Val Toggia	0.998
19	Vannino	0.999
	FARL	***0.976***

Procedendo verso monte, invece, la presenza di più invasi nelle stesse valli (ad esempio nella valle del Torrente Ovesca e Troncone, dove sono presenti cinque invasi) rende utile il calcolo di tale indice in riferimento alle singole valli, come di seguito riportato.

3.4.1 ALTO CORSO DEL TOCE

Come primo gruppo di invasi, vengono considerati quelli ricadenti nell'alto corso del Toce, con sezione di chiusura a Verampio, alla confluenza tra il torrente Devero ed il fiume Toce. In questo caso, la valle sottesa alla sezione di interesse, presenta un'area complessiva di 176.8 km². I cinque invasi presenti, nel complesso, hanno delle superfici dei laghi confrontabili con la superficie della valle, da cui deriva un indice FARL relativamente basso, tale da lasciar supporre una buona capacità di risposta nei confronti della laminazione (Tabella 6).

Tabella 6. Valutazione dell'indice FARL per l'alto corso del Toce, sezione di chiusura a Verampio. Superficie della valle: 176.8 km^2.

CODICE	INVASO	INDICE α
17	Sabbione	0.972
14	Morasco	0.971
18	Val Toggia	0.981
12	Lago Castel	-
15	Obersee	0.995
19	Vannino	0.985
5	Busin Inferiore	0.993
	FARL	***0.901***

3.4.2 VAL DI DEVERO

Il secondo gruppo, composto solo da due invasi, riguarda la valle del Torrente Devero. Questa, valutata alla confluenza con il fiume Toce, presenta una superficie di 110.3 km², con due invasi di modeste dimensioni, che comunque permettono di avere un indice FARL ancora piuttosto ridotto.

Tabella 7. Valutazione dell'indice FARL per la Valle del torrente Devero. Superficie della valle: 110.3 km^2.

INDICE	INVASO	INDICE α
9	Devero	0.950
1	Agaro	0.972
	FARL	***0.923***

3.4.3 VAL DIVERIA

Nella valle successiva, quella del Torrente Diveria con sezione di chiusura alla confluenza con il fiume Toce, è presente un solo serbatoio, identificato nella diga del Lago d'Avino. Dato che la superficie del bacino, se raffrontata con l'area del bacino imbrifero, risulta piccolissima, si ottiene un indice FARL ormai prossimo ad 1.

Tabella 8. Valutazione dell'indice FARL per la valle del torrente Diveria. Superficie della valle: 321.09 km^2.

INDICE	INVASO	INDICE α
13	Lago d'Avino	0.994
	FARL	***0.994***

3.4.4 VAL ISORNO

Viene ora esaminata la Val Isorno con sezione di chiusura alla confluenza con il fiume Toce, in cui sono presenti due serbatoi. Anche in questo caso, si hanno invasi con laghi piccolissimi in confronto all'area del bacino sotteso alla sezione di interesse, determinando un indice FAL tendente ad 1.

Tabella 9. Valutazione dell'indice FARL per la Valle Isorno. Superficie della valle: 73.2 km^2.

INDICE	INVASO	INDICE α
4	Alpe Larecchio	0.988
2	Agrasina	0.994
	FARL	***0.982***

3.4.5 VALLE OVESCA

La Tabella 10 si riferisce, invece, alla valle Ovesca, sempre con sezione di chiusura alla confluenza con il fiume Toce, in cui sono presenti cinque invasi. L'elevato numero di invasi con laghi di modeste dimensioni, in aggiunta all'area del bacino complessivo ridotta, permette di avere un indice FARL comunque ridotto.

Tabella 10. Valutazione dell'indice per la Valle Ovesca. Superficie della valle: 148.1 km^2.

CODICE	INVASO	INDICE α
3	Alpe Cavalli	0.976
10	Lago Antrona	0.977
6	Campliccioli	0.976
7	Camposecco	0.990
11	Lago Cingino	0.995
	FARL	***0.917***

3.4.6 VALLE ANZASCA

L'ultima valle considerata, infine, risulta essere la valle del Torrente Anza, anch'essa valutata alla confluenza con il fiume Toce, al cui interno sono presenti due invasi. Questi, di ridotte dimensioni, determinano un indice FARL molto elevato, ormai prossimo ad 1.

Tabella 11. Valutazione dell'indice FARL per la valle Anzasca.

INDICE	INVASO	INDICE α
16	Quarazza	0.997
8	Ceppo Morelli	0.990
	FARL	***0.987***

3.4.7 VALUTAZIONE COMPLESSIVA DEI RISULTATI OTTENUTI

Dal confronto tra i vari risultati ottenuti, risulta che, in relazione alle singole valli di appartenenza, si hanno effetti di laminazione diversi, da buone (Alto Toce e Val Devero) a scarse (Valle Anzasca). Si ricorda, però, che l'indice FARL, come quello definito tramite la (5), fornisce indicazioni relative ad un possibile effetto di laminazione determinato da un lago di tipo "naturale", ossia un invaso in cui non si è tenuto conto del possibile effetto dovuto alla presenza di organi di scarico che alterino il normale efflusso delle acque. Si dovrà, quindi, valutare successivamente se la presenza di organi di scarico cambi il comportamento dei singoli invasi.

L'indice FARL ottenuto è stato rappresentato anche graficamente in seguito al calcolo effettuato in alcune sezioni di chiusura ritenute più significative. Nella Tavola 5.1, si riporta il valore dell'indice FARL, associando ad ogni valore una diversa tonalità di colore, in maniera tale da permettere un'identificazione immediata del valore dell'indice allontanandosi dagli invasi. La Tavola 5.2, invece, associa gli stessi colori con cui erano state individuate le aste fluviali nella Tavola 5.1 alle aree dei bacini sottesi. Questa seconda tavola, però, è stata concepita al fine di fornire indicazioni sull'estensione dei bacini confluenti nei singoli tratti delle aste fluviali che determinano un innalzamento del valore dell'indice FARL. Ad esempio, nella parte centrale del percorso del fiume Toce, si nota come, l'ampia presenza del colore rosso indica che la consistenza degli apporti laterali determina un immediato e consistente innalzamento del valore dell'indice FARL.

4 VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DI LAMINAZIONE.

Si valuta l'effetto di laminazione esercitato dai serbatoi presenti nel bacino del fiume Toce, al fine di individuare quali, tra i serbatoi presenti, possano essere oggetto di ulteriori studi che permettano di operare un miglioramento della risposta nei confronti di un'onda di piena. Tali miglioramenti, naturalmente, saranno riscontrabili in una riduzione del valore al colmo dell'onda di piena in uscita dal serbatoio, rispetto al valore al colmo dell'onda di piena in ingresso.

Tale tipo di analisi richiede di individuare un idrogramma di piena che sia rappresentativo di ogni bacino in esame, sia in termini di valore al colmo, sia in termini di volumi transitanti. Non essendo, però, al momento disponibili osservazioni dirette si ricorre all'applicazione di alcune metodologie di stima indiretta degli idrogrammi di piena. Nello specifico, si ricorre all'utilizzo dei risultati esposti nel progetto VAPI-Piemonte per la caratterizzazione idrologica dei bacini, mentre per la valutazione del legame picco-volume si utilizza la curva di riduzione dei colmi di piena, come è esposto ai paragrafi successivi.

4.1 METODOLOGIA DI CALCOLO.

La valutazione dell'effetto di laminazione si riconduce alla verifica degli invasi stabilendo, al variare del tempo di ritorno T, il rispettivo coefficiente di laminazione η. L'idrogramma in entrata all'invaso è ottenuto attraverso una funzione che lo lega al rapporto di riduzione dei colmi di piena o curva di riduzione dei colmi di piena (Pianese e Rossi (1996)).

Il rapporto di riduzione dei colmi di piena è dato, per definizione, dal rapporto intercorrente tra la portata media Q_D valutata sulla durata generica D,

$$Q_D = \max\left(\frac{1}{D}\int_t^{t+D} q(\tau)d\tau\right) \tag{7}$$

e la portata al colmo Q dell'idrogramma in esame, ottenendo:

$$\varepsilon_D = \frac{Q_D}{Q}. \tag{8}$$

Tale rapporto può essere espresso anche analiticamente utilizzando delle equazioni di derivazione sia analitica che empirica basate, essenzialmente, su diverse interpretazioni del

fenomeno di trasformazione operato dal bacino. Nella presente si è scelto di utilizzare l'espressione empirica fornita in NERC(1975),

$$\varepsilon_{D,T} = (1 + b \cdot D)^{-c} \tag{9}$$

che considera il rapporto di riduzione funzione del parametro *b*, funzione del tempo di ritardo t_R del bacino

$$b = \frac{1}{t_R} \tag{10}$$

e del parametro

$$c = 1 - n \tag{11}$$

funzione dell'esponente *n* della curva di possibilità pluviometrica

$$I(t) = a \cdot d^{n-1} \tag{12}$$

L'idrogramma in ingresso all'invaso, in base al quale è calcolato il coefficiente di laminazione, viene valutato tramite la procedura individuata da Fiorentino(1985), che identifica l'idrogramma in entrata come:

$$q(D) = Q_T \cdot (\varepsilon_D + D \cdot \varepsilon'_D) \tag{13}$$

in cui compare, oltre al rapporto di riduzione dei colmi ε_D, anche la portata al colmo di piena Q_T al variare del tempo di ritorno *T* considerato.

La portata al colmo Q_T può essere ottenuta a partire da un valore indice di portata q_{indice} (può essere la media, la moda,…) moltiplicato, in seguito, per un fattore di crescita K_T che indica come il valore indice è correlato al valore al colmo al variare di T :

$$Q_T = q_{indice} \cdot K_T \tag{14}$$

Fatte queste brevi premesse, si può analizzare in dettaglio la procedura di calcolo seguita, i cui risultati sono presentati in tabelle raggruppanti tutti gli invasi presenti, poiché, per ogni invaso, è stata seguita la medesima procedura.

La procedura può essere sinteticamente suddivisa nelle seguenti fasi:

- individuazione degli invasi sul territorio;
- valutazione delle caratteristiche geomorfoclimatiche del bacino;

- valutazione della portata indice, individuabile, secondo la metodologia VAPI nella portata media dei massimi annuali $\mu(Q)$;
- valutazione del coefficiente di crescita, dato dal rapporto tra le portate al colmo ottenute per diversi valori del tempo di ritorno e la portata indice;
- calcolo del rapporto di riduzione tramite il modello empirico NERC(1975);
- identificazione delle caratteristiche dell'invaso, riscontrabili nella curva dei volumi di invaso e nella curva di efflusso dal serbatoio;
- valutazione dell'effetto di laminazione fornito dall'invaso.

4.2 CARATTERISTICHE GEOMORFOCLIMATICHE DEI BACINI.

La valutazione delle caratteristiche geomorfoclimatiche del bacino permette di identificare tutti quegli indici e parametri necessari al calcolo sia delle portate, sia dei valori pluviometrici, ottenuti applicando la metodologia VAPI. Individuato l'invaso in esame e circoscritto il bacino idrografico con sezione di chiusura in corrispondenza dello sbarramento, le singole caratteristiche sono calcolate tramite l'ausilio di software specifici per la parte idrologica, oppure tramite AutoCAD per l'identificazione del bacino e della rete idrografica.

Noto il bacino, si individuano le aree caratteristiche, dipendenti dalla tipologia di uso del suolo e dal grado di permeabilità dello stesso (Tabella 12), oltre ad alcuni parametri necessari alla caratterizzazione della risposta del bacino (Tabella 13-14).

Tabella 12. Aree caratteristiche di ogni bacino.

INVASO	AREE SIGNIFICATIVE - [km²]									
	bacino	ridotta	impermeabile	zona arida	zona intermedia	zona umida	bassa permeabilità **A1**	media permeabilità **A2**	alta permeabilità con bosco **A3**	alta permeabilità senza bosco **A4**
Agaro	10,98	10,98	5,99	0,00	0,00	10,98	5,99	4,99	0,00	0,00
Agrasina	17,83	17,83	0,00	0,00	0,00	17,83	0,00	17,83	0,00	0,00
Alpe Cavalli	23,74	23,74	7,22	0,00	0,00	23,74	7,22	15,48	0,00	0,00
Alpe Larecchio	3,02	3,02	0,00	0,00	0,00	3,02	0,00	3,02	0,00	0,00
Busin Inferiore	2,54	2,54	2,54	0,00	0,00	2,54	2,54	0,00	0,00	0,00
Campliccioli	35,19	35,19	11,73	0,00	0,00	35,19	11,73	23,46	0,00	0,00
Camposecco	4,08	4,08	2,04	0,00	0,00	4,08	2,04	2,04	0,00	0,00
Ceppo Morelli	121,00	121,00	14,88	0,00	5,17	115,83	14,88	92,24	0,00	0,00
Devero	25,38	25,38	10,74	0,00	0,00	25,38	10,74	13,66	0,00	0,00
Lago Antrona	42,67	42,67	14,88	0,00	0,00	42,67	14,88	27,78	0,00	0,00
Lago Cingino	3,06	3,06	1,53	0,00	0,00	3,06	1,53	1,53	0,00	0,00
Lago d'Avino	5,32	5,32	0,00	0,00	0,00	5,32	0,00	5,32	0,00	0,00
Morasco	35,26	35,26	23,17	0,00	0,00	34,25	23,17	0,00	0,00	0,00
Obersee	2,63	2,63	1,32	0,00	0,00	2,63	1,32	0,00	0,00	0,00
Quarazza	25,81	25,81	0,00	0,00	3,97	21,84	0,00	25,81	0,00	0,00
Sabbione	14,37	14,37	2,21	0,00	0,00	13,34	2,21	0,00	0,00	0,00
Val Toggia	10,32	10,32	6,45	0,00	0,00	10,32	6,45	3,87	0,00	0,00
Vannino	11,94	11,94	7,60	0,00	0,00	11,94	7,60	3,26	0,00	0,00

Tabella 13. Parametri di Horton.

INVASO	AREA del BACINO [km²]	PARAMETRI DI HORTON				
		rapporti			n° d'ordine maggiore Ω	lungh. corso d'acqua di ordine Ω L_Ω [m]
		di biforcazione R_b	delle lunghezze R_l	delle aree R_a		
Agaro	10,98	5,43	2,92	6,03	4	391
Agrasina	17,83	5,06	1,77	4,76	4	4866
Alpe Cavalli	23,74	4,22	1,26	3,78	5	4970
Alpe Larecchio	3,02	5,75	3,89	7,72	3	362
Busin Inferiore	2,54	4,00	2,16	5,26	3	1299
Campliccioli	35,19	4,39	1,63	3,73	5	4711
Camposecco	4,08	3,27	1,28	3,02	4	686
Ceppo Morelli	121,00	3,73	1,60	3,61	6	10662
Devero	25,38	3,43	1,73	3,83	5	1531
Lago Antrona	42,67	5,50	4,88	8,26	3	1573
Lago Cingino	3,06	4,20	1,04	4,60	3	733
Lago d'Avino	5,32	3,12	1,14	2,37	4	1616
Morasco	35,26	4,24	2,24	4,78	5	6453
Obersee	2,63	-	-	-	-	-
Quarazza	25,81	4,42	1,22	3,77	5	4171
Sabbione	14,37	4,00	2,11	4,24	4	2181
Val Toggia	10,32	5,10	2,03	5,86	4	674
Vannino	11,94	-	-	-	-	-

Tabella 14. N° di aste e loro lunghezza secondo la definizione di Horton.

INVASO	PARAMETRI DI HORTON											
	n° aste per ordine						lunghezza media aste [m]					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Agaro	59	8	2	1	-	-	309	469	2625	391	-	-
Agrasina	128	29	5	1	-	-	276	421	863	4866	-	-
Alpe Cavalli	151	42	10	2	1	-	316	547	820	604	4970	-
Alpe Larecchio	23	4	1	-	-	-	212	827	362	-	-	-
Busin Inferiore	20	5	1	-	-	-	268	578	1299	-	-	-
Campliccioli	252	63	14	3	1	-	354	565	869	1555	4711	-
Camposecco	32	9	3	1	-	-	296	500	180	686	-	-
Ceppo Morelli	818	200	52	16	4	1	374	660	881	954	3237	10662
Devero	157	37	10	4	1	-	320	494	990	1587	1531	-
Lago Antrona	11	2	1	-	-	-	871	4246	1573	-	-	-
Lago Cingino	21	5	1	-	-	-	375	360	733	-	-	-
Lago d'Avino	39	14	4	1	-	-	298	353	229	1616	-	-
Morasco	226	53	12	3	1	-	336	361	1319	3229	6453	-
Obersee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quarazza	176	42	10	2	1	-	447	577	880	758	4171	-
Sabbione	96	24	6	1	-	-	346	432	1542	2181	-	-
Val Toggia	52	14	2	1	-	-	387	629	1597	674	-	-
Vannino	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Le caratteristiche climatiche dei bacini sono rappresentate dalle curve di possibilità pluviometrica, che, nello specifico, sono costituite da due tipi di curve. Per le durate inferiori all'ora si adotta l'espressione:

$$\mu[h(d)] = \mu(I_0) \cdot \frac{d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{\beta}} \qquad (15)$$

in cui $\mu(I_0)$ è la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia per d che tende a zero, d_c rappresenta un tempo caratteristico del fenomeno e β è un esponente. Per durate comprese tra 1 e 24 ore si adotta la legge monomia:

$$\mu[h(d)] = a \cdot d^{n} \qquad (16)$$

dipendente dai due parametri a (altezza di pioggia per $d=1$ *ora*) ed n.

Tabella 15. Parametri delle curve di possibilità pluviometrica.

INVASO	PLUVIOMETRIA					
	durate inferiori ad 1 ora			durate comprese tra 1 e 24 ore		
	parametro		$\mu(I_0)$	parametro	esponente	$\mu[h(t=24ore)]$
	β [-]	d_c [ore]	[mm/ora]	**a** [mm]	**n** [-]	[mm]
Agaro	0,45	0,05	84,29	22,40	0,51	113,79
Agrasina	0,49	0,07	93,43	29,40	0,50	122,08
Alpe Cavalli	0,44	0,06	68,71	21,30	0,56	118,42
Alpe Larecchio	0,49	0,07	93,43	29,40	0,50	122,08
Busin Inferiore	0,48	0,06	91,87	24,00	0,46	114,89
Campliccioli	0,45	0,08	65,79	20,40	0,56	121,15
Camposecco	0,45	0,08	65,79	20,40	0,56	121,15
Ceppo Morelli	0,46	0,09	62,08	20,60	0,56	115,93
Devero	0,45	0,05	84,29	22,40	0,51	113,79
Lago Antrona	0,45	0,08	67,04	21,30	0,56	122,60
Lago Cingino	0,45	0,08	65,79	20,40	0,56	121,15
Lago d'Avino	0,43	0,04	79,00	21,50	0,54	115,16
Morasco	0,48	0,06	89,65	22,50	0,46	115,01
Obersee	0,47	0,06	89,85	22,80	0,47	116,01
Quarazza	0,46	0,10	62,23	21,70	0,55	117,48
Sabbione	0,48	0,06	89,65	22,50	0,46	115,01
Val Toggia	0,49	0,06	92,66	23,90	0,44	115,01
Vannino	0,47	0,06	89,85	22,80	0,47	116,01

4.3 VALUTAZIONE DELLA PORTATA INDICE.

Seguendo la metodologia VAPI, si identifica come valore indice il valor medio annuo della portata al colmo di piena istantanea, indicato con

$$\mu(Q) = q_{indice} \tag{16}$$

Pur essendo disponibili diverse formule per il calcolo delle portate, si è deciso in questa sede di effettuare il calcolo utilizzando la formula razionale

$$\mu(Q) = C_f \cdot A \cdot \mu(I_A(t_R))/3.6 \tag{17}$$

in quanto, non avendo a disposizione alcun tipo di dato sperimentale, la (17) sembra essere soggetta a minore incertezza. In effetti, l'applicazione di altre formule, sia di tipo empirico che di tipo geomorfoclimatico (non riportate nella presente), ha evidenziato che i rispettivi valori dei coefficienti udometrici variavano in un range molto elevato, anche per bacini limitrofi. La formula razionale, invece, fornisce valori variabili in un intervallo più ristretto, compatibili con le caratteristiche dei singoli bacini sottesi.

La (24) dipende dal coefficiente di afflusso C_f, assunto pari a

$$C_f = 0.24 \tag{18}$$

dall'area A del bacino e dall'intensità media di pioggia $\mu[I_A(t_R)]$ valutata per una durata del fenomeno pari al tempo di ritardo del bacino, secondo la relazione (15) o la (12). Il tempo di ritardo, infine, si ottiene dall'espressione

$$t_R = \frac{1.25 \cdot \sqrt{A}}{3.6 \cdot C} \tag{19}$$

in cui C rappresenta la celerità media di propagazione dell'onda di piena.

Tabella 16. Parametri delle curve di possibilità pluviometrica.

INVASO	TEMPO DI RITARDO	PORTATA INDICE	COEFF. UDOMETRICO
	t_R [ore]	**μ (Q)** [m³ / s]	**U [(m³/s) / km²]**
Agaro	0.556	19.55	1.78
Agrasina	1.128	31.66	1.78
Alpe Cavalli	1.253	29.03	1.22
Alpe Larecchio	0.464	6.90	2.28
Busin Inferiore	0.357	6.13	2.42
Campliccioli	1.401	38.40	1.09
Camposecco	0.497	7.28	1.78
Ceppo Morelli	2.099	97.25	0.80
Devero	0.866	36.40	1.43
Lago Antrona	1.553	45.85	1.07
Lago Cingino	0.431	5.78	1.89
Lago d'Avino	0.497	9.04	1.70
Morasco	1.305	42.59	1.21
Obersee	0.363	6.25	2.37
Quarazza	1.002	35.26	1.37
Sabbione	0.817	22.93	1.60
Val Toggia	0.720	17.71	1.72
Vannino	0.727	20.75	1.74

4.4 VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI CRESCITA.

Il fattore di crescita è dato dal rapporto tra il valore di progetto, valutato in base ad un certo tempo di ritorno, ed il corrispondente valore indice. Pur essendo possibile valutare tale grandezza sia per le piogge che per le portate, in tale sede si ritiene opportuno concentrarsi solo sulle portate, in quanto sono quelle che interessano maggiormente ai fini del calcolo della laminazione. I valori ottenuti sono riportati nella successiva Tabella 17.

Tabella 17. Coefficiente di crescita delle portate al variare del tempo di ritorno.

INVASO	FATTORE DI CRESCITA K_T											
	Tempo di Ritorno T- [anni]											
	5	10	20	30	40	50	100	200	300	500	1000	2000
Agaro	1.29	1.72	2.33	2.77	3.10	3.36	4.19	5.02	5.51	6.12	6.94	7.77
Agrasina	1.37	1.72	2.09	2.33	2.51	2.66	3.16	3.74	4.11	4.59	5.26	5.94
Alpe Cavalli	1.28	1.81	2.65	3.25	3.69	4.03	5.09	6.15	6.76	7.54	8.59	9.64
Alpe Larecchio	1.37	1.72	2.09	2.33	2.51	2.66	3.16	3.74	4.11	4.59	5.26	5.94
Busin Inferiore	1.29	1.72	2.34	2.81	3.17	3.47	4.40	5.33	5.87	6.56	7.49	8.42
Campliccioli	1.29	1.81	2.62	3.20	3.63	3.96	4.99	6.03	6.63	7.39	8.42	9.45
Camposecco	1.29	1.81	2.62	3.20	3.63	3.96	4.99	6.03	6.63	7.39	8.42	9.45
Ceppo Morelli	1.28	1.83	2.71	3.34	3.79	4.15	5.25	6.34	6.98	7.78	8.87	9.96
Devero	1.28	1.73	2.38	2.86	3.21	3.49	4.36	5.23	5.74	6.38	7.25	8.12
Lago Antrona	1.30	1.80	2.56	3.11	3.52	3.84	4.83	5.82	6.40	7.13	8.12	9.11
Lago Cingino	1.29	1.81	2.62	3.20	3.63	3.96	4.99	6.03	6.63	7.39	8.42	9.45
Lago d'Avino	1.29	1.75	2.41	2.89	3.25	3.54	4.43	5.32	5.84	6.49	7.38	8.26
Morasco	1.20	1.86	3.05	3.83	4.37	4.80	6.10	7.41	8.17	9.13	10.42	11.72
Obersee	1.22	1.82	2.88	3.58	4.08	4.47	5.67	6.87	7.56	8.44	9.63	10.83
Quarazza	1.28	1.82	2.67	3.27	3.71	4.06	5.13	6.19	6.81	7.60	8.66	9.72
Sabbione	1.13	1.99	3.58	4.54	5.22	5.75	7.37	8.98	9.93	11.11	12.73	14.34
Val Toggia	1.31	1.69	2.17	2.53	2.82	3.07	3.9	4.73	5.23	5.86	6.71	7.57
Vannino	1.22	1.82	2.88	3.58	4.08	4.47	5.67	6.87	7.56	8.44	9.63	10.83

I valori riportati, desunti dalla procedura VAPI, risultano piuttosto elevati, dato che si raggiungono anche valori prossimi a 10 per tempi di ritorno di 1000 anni. Essi, comunque, sono in accordo con i valori ottenuti in altri studi condotti considerando macro-regioni omogenee, come, ad esempio gli studi di Rosso (2002) che, per il territorio delle Alpi e Pre-Alpi Occidentali, consiglia valori del fattore di crescita di 7.57 per T=500 anni.

4.5 RAPPORTO DI RIDUZIONE DEI COLMI DI PIENA.

Come già indicato, si utilizza per il rapporto di riduzione l'espressione fornita dal NERC(1975),

$$\varepsilon_{D,T} = (1 + b \cdot D)^{-c} \tag{20}$$

in cui:

$$b = \frac{1}{t_R} \tag{21}$$

$$c = 1 - n \tag{22}$$

4.6 CARATTERISTICHE DELL'INVASO.

Le caratteristiche dell'invaso che maggiormente interessano la laminazione sono riscontrabili nelle condizioni iniziali di livello di invaso, nella curva dei volumi di invaso e nella scala di efflusso degli scarichi.

4.6.1 CONDIZIONI INIZIALI DEL SERBATOIO.

In questa fase dello studio si vuole verificare la capacità laminativa dei serbatoi quando questi si trovano nella condizione più sfavorevole riscontrabile al momento dell'arrivo di un'onda di piena. Tale situazione critica si ritiene che ad avere il livello idrico all'interno dell'invaso che raggiunge la quota di soglia degli scarichi di superficie. Con tale assunzione, in pratica, si ipotizza che nella gestione normale dell'invaso si cerchi di mantenere il livello idrico il più elevato possibile, al fine di garantire la maggior produzione possibile.

Nel caso in cui gli scarichi di superficie siano costituiti da una soglia sfiorante e da una o più soglie munite di paratoie, si considera che il livello iniziale coincida con la quota soglia dello scarico ad efflusso libero, mentre le paratoie sono considerate chiuse e in tale posizione rimangono per tutta la durata del fenomeno di piena. Nel caso in cui gli scarichi di superficie siano tutti muniti di organi di regolazione, si considera il livello idrico alla quota soglia dello scarico posto più in alto (identificato normalmente con il primo scarico di superficie), mentre tutte le altre paratoie sono considerate chiuse dall'inizio alla fine del fenomeno di piena. Operando in tale maniera, in pratica, si considera funzionante un solo scarico di superficie per ogni invaso.

Si considera, inoltre, che la portata in ingresso che determina l'entrata in funzione dello scarico di superficie corrisponde alla portata indice. Dato che questa, in teoria, dovrebbe corrispondere alla portata media annuale (per come è stata determinata), si ipotizza che tale valore transiti attraverso l'invaso senza essere laminato, venendo, ad esempio, smaltita attraverso altre tipologie di scarichi. Una volta superato tale valore, si ipotizza che sia in atto un evento di piena, ottenendo che, per evitare l'intasamento delle opere di scarico e di presa (da parte del materiale trasportato dall'onda di piena), tutte le portate in ingresso da questo momento in poi vengano evacuate dallo scarico di superficie, ottenendo la laminazione dell'onda di piena.

Si considera inoltre che, nel caso siano presenti due o più serbatoi posti con una configurazione in serie, gli invasi a monte siano "trasparenti", ossia che non esercitino alcun

effetto di laminazione sull'idrogramma in ingresso al serbatoio più a valle, operando in questo modo a vantaggio di sicurezza.

4.6.2 CURVA DI INVASO.

La curva di invaso adottata è rappresentata dall'equazione in forma monomia

$$V = v1 \cdot H_{liv}^{m1} \tag{23}$$

in cui V indica il volume idrico presente nel serbatoio in corrispondenza del livello H_{liv}, questo ultimo misurato a partire dalla quota di minimo invaso.

L'interpolazione dei dati osservati, al fine di ricavare i parametri v1 e m1, è condotta considerando tutto il campo di variazione dei volumi di invaso, dalla quota di minimo invaso alla quota di massimo invaso, imponendo la condizione che la curva teorica approssimi più accuratamente la parte in cui si trovano i volumi compresi tra la quota soglia dello scarico di superficie e la quota di massimo invaso.

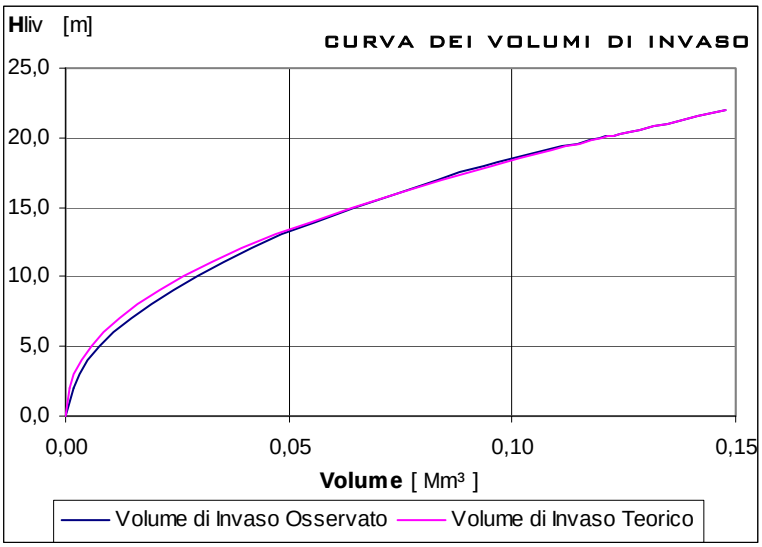


Figura 19. Confronto tra la curva di invaso osservata e quella teorica.

Si è resa necessaria questa operazione in quanto la curva dei volumi di invaso reale non permetteva un'ottimale interpolazione dei valori per H_{liv} variabile tra la quota soglia dello scarico e la quota di massimo invaso.

4.6.3 CURVA DI EFFLUSSO.

La curva di efflusso dello scarico considerato è ancora di tipo monomio:

$$q_u = c1 \cdot H^{n1} \tag{24}$$

Dato che il coefficiente di efflusso μ dell'equazione completa

$$q_u = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \tag{25}$$

varia al variare di *H* (cambia la forma e la dimensione della vena liquida in uscita), si è deciso di interpolare le curve reali tramite una interpolazione lineare in campo logaritmico senza forzare la soluzione imponendo i valori di 0.5 e 1.5 per l'esponente *n1* nel caso rispettivamente di efflusso a battente ed efflusso a stramazzo. In ogni caso, le differenze rispetto al caso teorico (*n1* pari a 0.5 e 1.5) risultano modeste.

4.7 VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DI LAMINAZIONE.

L'effetto di laminazione esercitato da ogni serbatoio consiste nel ridurre il valore al picco di un generico idrogramma in ingresso, traslando nel tempo i volumi idrici transitanti per la sezione di interesse. L'arrivo di una certa portata $q_e(t)$ determina un incremento di livello nel serbatoio, a cui corrisponde un momentaneo accumulo di volumi idrici e conseguentemente anche un certo valore di portata in uscita. Ciò può essere riassunto brevemente nell'equazione di continuità

$$q_e - q_u = \frac{dV}{dt} \tag{26}$$

dalla cui soluzione si ottiene l'idrogramma in uscita, scopo dei calcoli seguenti.

La procedura di calcolo prevede, quindi, i seguenti passi:

- calcolo dell'idrogramma in ingresso al sistema al variare del tempo di ritorno *T*;
- calcolo dell'idrogramma in uscita dal serbatoio, al variare del tempo di ritorno *T*;
- calcolo dei rispettivi coefficiente di laminazione per ogni *T*;
- valutazione dei valori limite di portata e tempo di ritorno per ogni invaso.

4.7.1 IDROGRAMMA IN INGRESSO.

Dato che si è stabilito che la forma dell'onda di piena è scarsamente rilevante, si può procedere ad un suo calcolo indiretto, ricostruendo un idrogramma sintetico in entrata nella sezione in esame.

La procedura seguita nella presente prevede il calcolo di tale idrogramma in base alla metodologia individuata da Fiorentino (1985), basata sulle caratteristiche delle curve di riduzione dei colmi di piena.

Tale procedura consiste, essenzialmente, nel valutare l'idrogramma $q_e(t)$ in entrata a partire dall'espressione usata nelle curve di riduzione, in base all'equazione:

$$Q_{D,T} = \max_{0 \le t \le \tau - D} \left(\frac{1}{D} \int_t^{t+D} q_e(\tau) d\tau \right) = Q_T \cdot \varepsilon_{D,T} \tag{27}$$

Data l'arbitrarietà della forma dell'idrogramma di piena, Fiorentino (1985) ipotizza che quello sollecitante il bacino sia caratterizzato da una risalita istantanea al tempo $t = 0$ e da un andamento decrescente per tempi $t > 0$, ottenendo:

$$Q_{D,T} = \left(\frac{1}{D} \int_0^D q_e(\tau) d\tau \right) = Q_T \cdot \varepsilon_{D,T} \tag{28}$$

L'equazione assunta dall'idrogramma è ottenibile invertendo la (28), dopo aver sostituito all'intervallo *D* il generico tempo *t*, ossia, posta in sostituzione della (28) l'espressione

$$\frac{1}{t} \int_0^t q(t) dt = Q_T \cdot \varepsilon_{D,T} \tag{29}$$

e, ricavando $q_e(t)$ (che rappresenta l'idrogramma cercato) derivando la (29), si ottiene

$$q_e(t) = \frac{d}{dt} \left(t \cdot Q_T \cdot \varepsilon_{D,T} \right) \tag{30}$$

che porta alla formula

$$q_e(t) = Q_T \cdot \varepsilon_{D,T} + t \cdot Q_T \cdot \varepsilon'_{D,T} \tag{31}$$

da cui, utilizzando per la legge di riduzione, le varie espressioni proposte, si riesce a caratterizzare l'idrogramma in entrata che, avendo una formulazione analitica, permette una

più “semplice gestione” della fase di soluzione dell’equazione di continuità, soprattutto nel caso in cui siano presenti più scarichi in funzione contemporaneamente

4.7.2 IDROGRAMMA SIMMETRICO.

Nel caso in cui si voglia sollecitare il sistema con un idrogramma $q_2(t)$ costituito da un ramo crescente ed un ramo decrescente, si possono utilizzare i risultati precedenti imponendo che il volume massimo sotteso nella durata D dall’idrogramma $q_2(t)$ e dall’idrogramma fornito dalla (5) siano uguali.

Se ora si impone che l’idrogramma $q_2(t)$ sia di forma simmetrica con picco in corrispondenza dell’ascissa (durata D) pari a zero, si ottiene:

$$\int_0^D q_e(t)dt = \int_{-\frac{D}{2}}^{+\frac{D}{2}} q_2(t)dt \tag{32}$$

che, data la forma simmetrica imposta all’idrogramma $q_2(t)$ e, dato che l’integrale al primo membro della (32) è fornito dalla relazione

$$\int_0^D q_e(t)dt = \left(D \cdot Q_T \cdot \varepsilon_{D,T}\right) \tag{33}$$

fornisce l’espressione:

$$2\int_0^{+\frac{D}{2}} q_2(t)dt = D \cdot Q_T \cdot \varepsilon_{D,T} \tag{34}$$

L’espressione analitica che esprime $q_2(t)$ è desunta utilizzando come curva di riduzione dei colmi di piena quella fornita dal NERC(1985)

$$\varepsilon_{D,T} = \left(1 + b \cdot D\right)^{-c} \tag{35}$$

che, sostituita nella (34) fornisce

$$W_2\left(\frac{D}{2}\right) = \frac{D}{2} \cdot Q_T \cdot \left(1 + b \cdot 2 \cdot \frac{D}{2}\right)^{-c} \tag{36}$$

in cui $W_2\left(\frac{D}{2}\right)$ rappresenta l’integrale a primo membro della (34).

Se ora si pone

$$\frac{D}{2} = t \tag{37}$$

sotto la condizione per la derivazione

$$dD = 2 \cdot dt \tag{38}$$

e si sostituisce la (37) nella (36) si ricava:

$$W_2(t) = t \cdot Q_T \cdot (1 + b \cdot 2 \cdot t)^{-c} \tag{39}$$

che, derivata rispetto t in base alla (38), permette di ottenere l'idrogramma cercato:

$$q_2(t) = Q_T \cdot \left[(1 + 2b \cdot |t|)^{-c} - 2b \cdot c \cdot |t| \cdot (1 + 2b \cdot |t|)^{-c-1} \right] \tag{40}$$

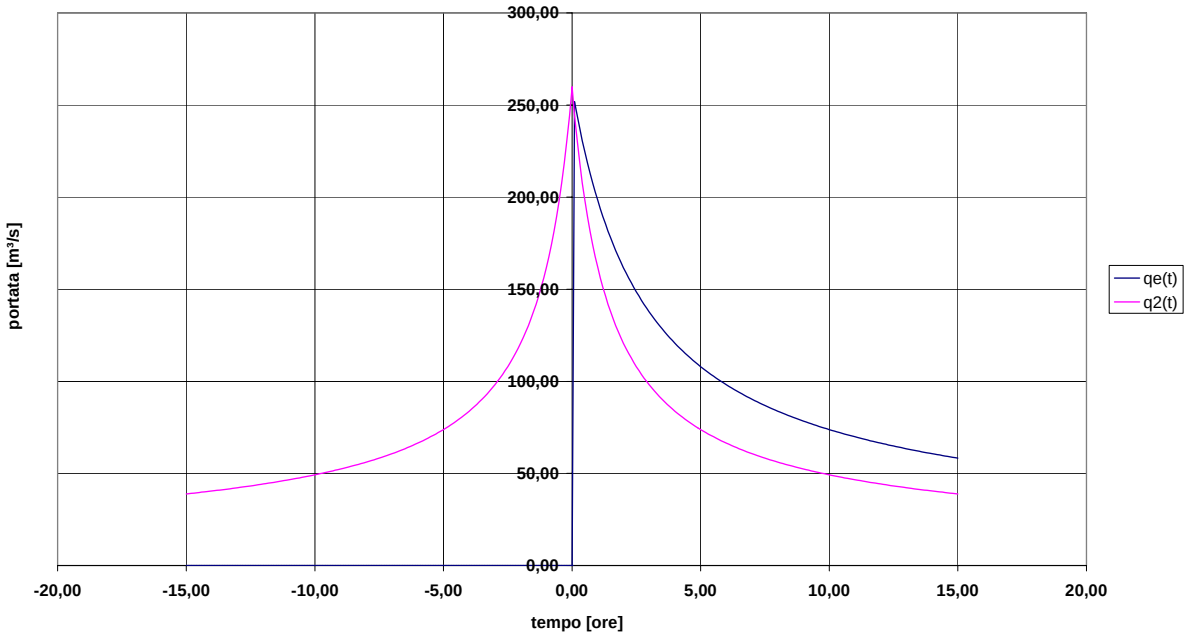


Figura 20. Esempi di idrogrammi di forma simmetrica $q_2(t)$ ed asimmetrica $q_e(t)$.

L'idrogramma in ingresso, in realtà, è troncato nella fase ascendente in corrispondenza del valore di portata indice.

4.7.3 IDROGRAMMA IN USCITA.

L'idrogramma in uscita è ottenuto risolvendo numericamente l'equazione di continuità:

$$q_e - q_u = \frac{dV}{dt} \tag{41}$$

discretizzando la durata del fenomeno in piccoli intervalli di tempo, ossia passando dai termini differenziali ai termini finiti.

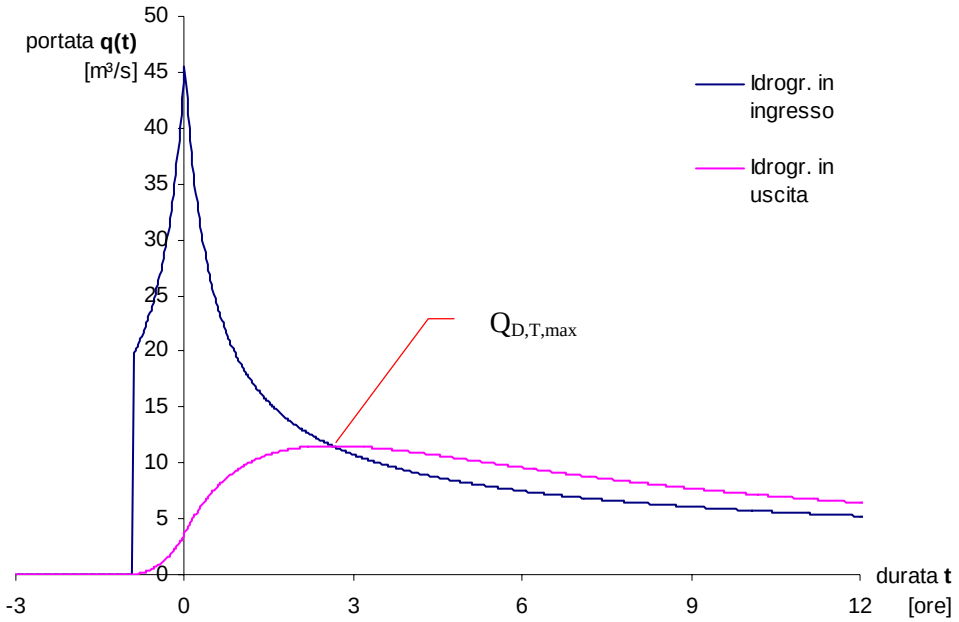


Figura 21. Esempio di idrogramma in ingresso ed in uscita tramite i quali si calcola il coefficiente di laminazione.

Noto l'idrogramma in uscita, si ricerca il valore massimo di portata $Q_{D,T,max}$, che è successivamente utilizzato per calcolare il coefficiente di laminazione dell'invaso. Dato che le condizioni iniziali e di gestione degli scarichi non cambiano, si ha la sicurezza che la soluzione trovata è unica per ogni idrogramma in ingresso considerato.

Operando in questo modo, inoltre, si ha la certezza che l'idrogramma in uscita e, soprattutto, il suo valore massimo mantiene le stesse caratteristiche di frequenza dell'idrogramma in ingresso, ossia che il tempo di ritorno dell'onda in uscita dal serbatoio è lo stesso di quello dell'onda in ingresso.

4.7.4 COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE.

Il coefficiente di laminazione è dato dal rapporto tra la portata massima in uscita $Q_{D,T,max}$ e la corrispondente portata al picco dell'idrogramma in ingresso Q_T

$$\eta(T) = \frac{Q_{D,T,max}}{Q_T} \tag{42}$$

che, poiché entrambi i valori di portata variano al variare di *T*, risulta anch'esso funzione del tempo di ritorno.

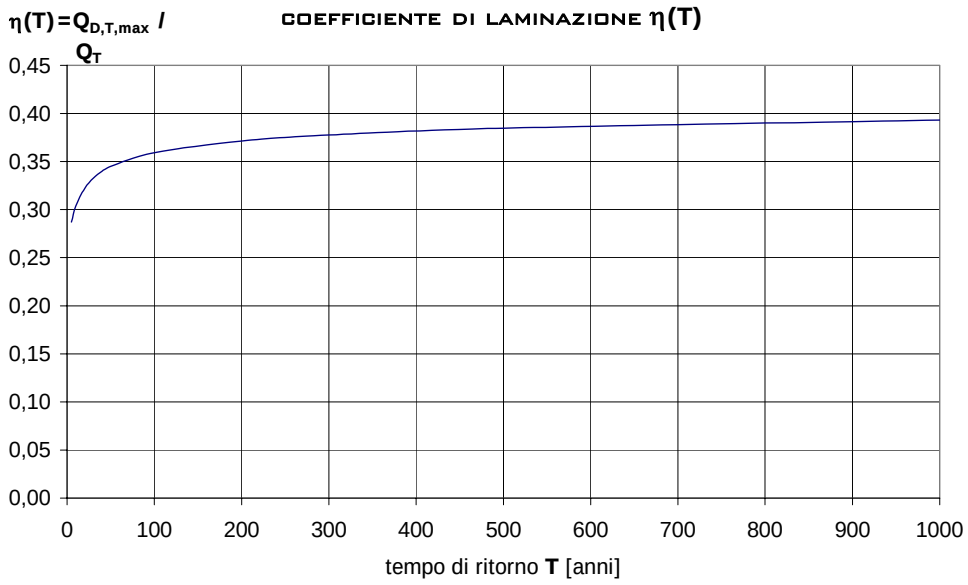


Figura 22. Esempio di variazione del coefficiente di laminazione con il tempo di ritorno.

Nella tabella successiva sono raccolti tutti i coefficienti di laminazione ottenuti per i vari invasi (*Tabella 18*).

I singoli idrogrammi in entrata ed in uscita sono stati ottenuti variando il tempo di ritorno *T* tra 5 e 1000 anni, al fine di comprendere l'effettivo vantaggio offerto dall'invaso. In alcuni casi, però, si è notato che l'utilizzo di un solo scarico di superficie risulta del tutto insufficiente, in quanto, per riuscire a smaltire le portate in ingresso, diventa necessario superare il carico massimo permesso sulla soglia, ossia viene superata la quota di massimo invaso: come noto tale accadimento deve, in ogni modo, essere evitata, in quanto comprometterebbe la sicurezza stessa dell'invaso.

Tabella 18. Coefficiente di laminazione al variare del tempo di ritorno T. Le celle evidenziate indicano che nel corso dell'evento di piena si è superata la quota di massimo invaso.

INVASO	Coefficiente di laminazione η (T) Tempo di Ritorno T										
	5	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**500**	**1000**
Agaro	0.177	0.207	0.254	0.289	0.315	0.336	0.401	0.453	0.476	0.498	0.518
Agrasina	0.961	0.966	0.969	0.970	0.971	0.972	0.974	0.976	0.976	0.977	0.978
Alpe Cavalli	0.302	0.373	0.494	0.563	0.597	0.615	0.642	0.655	0.661	0.668	0.678
Alpe Larecchio	0.208	0.235	0.264	0.284	0.299	0.311	0.350	0.394	0.418	0.446	0.476
Busin Inferiore	0.053	0.076	0.090	0.099	0.105	0.111	0.127	0.145	0.154	0.167	0.184
Campliccioli	0.372	0.481	0.639	0.699	0.720	0.729	0.747	0.761	0.768	0.777	0.789
Camposecco	0.356	0.450	0.591	0.653	0.678	0.689	0.707	0.719	0.724	0.732	0.744
Ceppo Morelli	0.990	0.992	0.994	0.995	0.995	0.996	0.997	0.997	0.997	0.998	0.998
Devero	0.181	0.214	0.262	0.300	0.328	0.349	0.412	0.459	0.480	0.499	0.516
Lago Antrona	0.563	0.707	0.799	0.813	0.818	0.822	0.831	0.840	0.845	0.851	0.860
Lago Cingino	0.382	0.490	0.636	0.692	0.712	0.721	0.736	0.748	0.753	0.762	0.772
Lago d'Avino	0.191	0.221	0.269	0.306	0.335	0.357	0.421	0.466	0.484	0.499	0.513
Morasco	0.316	0.425	0.576	0.628	0.649	0.660	0.679	0.691	0.697	0.705	0.713
Obersee	0.121	0.148	0.194	0.224	0.246	0.263	0.310	0.351	0.370	0.390	0.409
Quarazza	0.931	0.958	0.964	0.966	0.968	0.969	0.971	0.975	0.979	0.985	0.993
Sabbione	0.068	0.086	0.116	0.135	0.148	0.159	0.190	0.219	0.234	0.251	0.269
Val Toggia	0.117	0.134	0.155	0.170	0.182	0.193	0.226	0.260	0.278	0.300	0.327
Vannino	0.217	0.284	0.402	0.469	0.508	0.533	0.581	0.604	0.613	0.621	0.631

Pur riportando nei grafici tutte le curve ottenute al variare di *T* (ipotizzando, quindi, una capacità illimitata di invaso), è stato eseguito anche il calcolo del valore limite che può assumere la portata al colmo in ingresso al serbatoio ed il rispettivo tempo di ritorno *T*, imponendo che l'idrogramma in ingresso corrisponda a quello che determina il massimo invaso nel serbatoio (T*abella 19*).

I valori riportati indicano che in nove invasi non è sufficiente l'apertura di un solo scarico di superficie, in quanto il tempo di ritorno *T* massimo a cui può ancora funzionare lo scarico considerato è inferiore ai 500 anni previsti dalla normativa vigente in materia. Il comportamento di ogni singolo invaso, però, non può essere riassunto nell'indicazione del solo valore del coefficiente di laminazione, in quanto ciascuno possiede diverse configurazioni degli scarichi, tali per cui è necessario procedere ad un'analisi di dettaglio.

Come è indicato nelle schede relative ad ogni invaso, si è deciso, nel caso in cui con l'ipotesi di calcolo proposta venga superato il massimo invaso, di ripetere la simulazione considerando aperto un ulteriore scarico di superficie, se presente, oppure uno degli scarichi di alleggerimento. In questi casi, comunque, si è deciso di operare analogamente a prima,

ipotizzando che questi scarichi siano completamente aperti dall'inizio del fenomeno di piena fino alla sua fine, con livello idrico iniziale nel serbatoio alla quota della soglia dello scarico inferiore considerato aperto.

Tabella 19. Coefficiente di laminazione limite per la configurazione scelta e corrispondente tempo di ritorno T.

INVASO	Coeff. Laminazione η (T)	
	η (T)	T [anni]
Agaro	0.522	1347
Agrasina	0.792	4
Alpe Cavalli	0.655	193
Alpe Larecchio	0.562	>2000
Busin Inferiore	0.244	>2000
Campliccioli	0.796	>2000
Camposecco	0.715	84
Ceppo Morelli	0.996	48
Devero	0.551	>2000
Lago Antrona	0.808	19
Lago Cingino	0.754	343
Lago d'Avino	0.517	1153
Morasco	0.582	18
Obersee	0.402	755
Quarazza	0.980	272
Sabbione	0.115	18
Val Toggia	0.365	>2000
Vannino	0.561	68

4.8 DISCUSSIONE DEI RISULTATI OTTENUTI PER OGNI INVASO.

Dato che non è possibile giudicare a priori i risultati ottenuti, si riporta per ogni invaso, oltre ai grafici dei risultati ottenuti, anche un breve commento che possa chiarire alcuni aspetti sul comportamento degli scarichi nei confronti dell'onda di piena.

Per maggiori dettagli si rimanda all'Allegato D, in cui per ogni invaso sono stati raccolti tutti i risultati ottenuti, sia in forma gabellare, sia in forma grafica. Delle varie ipotesi di gestione esaminate, nell'Allegato D si riporta almeno la tabella dei risultati. I grafici presentati, invece, si riferiscono solo alla configurazione che ha permesso di ottenere il più alto livello di sicurezza.

4.8.1 AGARO.

Lo scarico considerato nell'analisi, ed a cui è attribuito il compito di eseguire la laminazione, è costituito da una soglia sfiorante con ciglio a quota 1596.60 m s.l.m., con uno sviluppo complessivo di 36.00 m e con massimo battente di 0.95 m, capace di far defluire, con il livello al massimo invaso, la portata di 64.0 m³/s. La restituzione avviene tramite un canale la cui larghezza massima è pari a 7.50 m. Tale scarico è più che sufficiente a smaltire le portate in ingresso, senza compromettere la sicurezza dell'invaso, avendo un tempo di ritorno limite di oltre 1000 anni. Non risulta quindi necessario intervenire con lo scarico di alleggerimento (controllato da una paratoia piana), che, essendo posto in testa al canale fugatore dello scarico di superficie, comporta comunque un suo possibile utilizzo in fase di gestione della piena, permettendo la fuoriuscita di altri 18.0 m³/s di portata.

L'invaso presenta un coefficiente di laminazione molto basso, tale da permettere una riduzione notevole delle portate in uscita dal serbatoio rispetto a quelle identificabili in un deflusso naturale (assenza dell'invaso), come mostrato in Figura 23b.

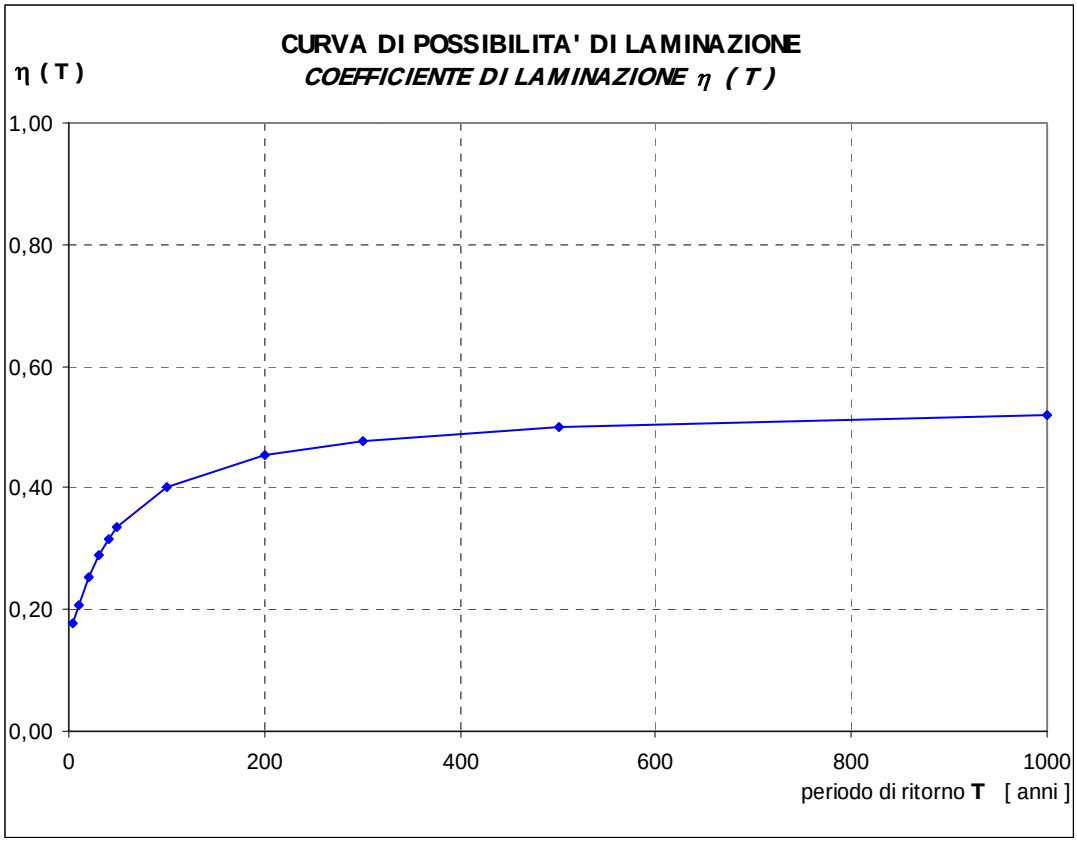


Figura 23a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Agaro. Utilizzo del 1°scarico di superficie.

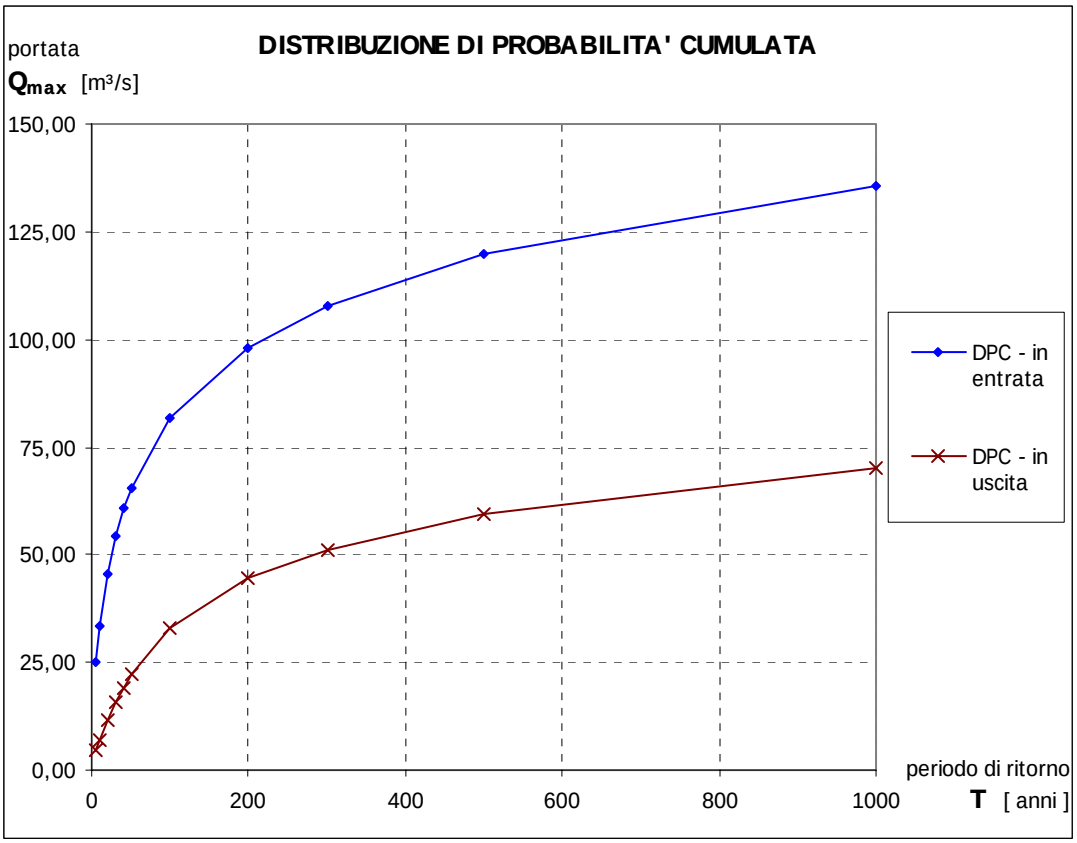


Figura 23b. Distribuzione di probabilità cumulata delle portate al colmo di piena a valle dell'invaso di Agaro, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 1°scarico di superficie).

4.8.2 AGRASINA.

L'analisi è stata condotta considerando in prima ipotesi utilizzabile solo il primo scarico di superficie, costituito da una paratoia a ventola da 10.20x1.00m, a funzionamento idraulico automatico con funzione di ritenuta, che si considera completamente abbattuta per tutta la durata del fenomeno di piena. Il corrispondente valore ottenuto per il tempo di ritorno limite, tale da determinare il massimo invaso, in questo caso presenta un valore molto basso (T=4 anni) che denota come, già in fase di progetto, non si prevedeva l'utilizzo di una sola tipologia di scarico. In effetti tale serbatoio si presenta con altri due scarichi.

Il primo è costituito da una paratoia piana da 10.20x2.00m del tipo piano scorrevole su ruote, sormontata dalla paratoia a ventola (1° scarico di superficie utilizzato nell'analisi): il complesso dei due elementi è provvisto di argano di sollevamento a doppia catena azionabile con motore elettrico e manovra sussidiaria a mano. Il secondo è costituito da 3 paratoie (da 4.10x3.00m ciascuna) a diaframma scorrevole su ruote, fornite di argano di sollevamento azionabile con comando a motore elettrico e manovra sussidiaria a mano. L'apertura completa dei due scarichi sovrapposti (1° e 2° scarico di superficie) permette di smaltire, con il livello

idrico al massimo invaso, circa 90 m³/s che salgono a circa 210 m³/s con l'apertura completa di tutti gli scarichi di superficie.

Nella simulazione condotta si considera di utilizzare per l'evacuazione delle portate quello che è stato identificato come il terzo scarico di superficie, ottenendo un netto miglioramento della condizione critica (Figura 24a e 24b).

Tale scarico, infatti, è caratterizzato dalla possibilità di evacuare portate superiori rispetto alla combinazione dei due scarichi precedenti, determinando un innalzamento della sicurezza del serbatoio, spostando il tempo di ritorno limite fino a 444 anni, con valori del coefficiente di laminazione al variare del tempo di ritorno pressoché identici a quelli trovati negli altri casi trattati.

Tutti i risultati ottenuti sono stati riportati nell'Allegato D.

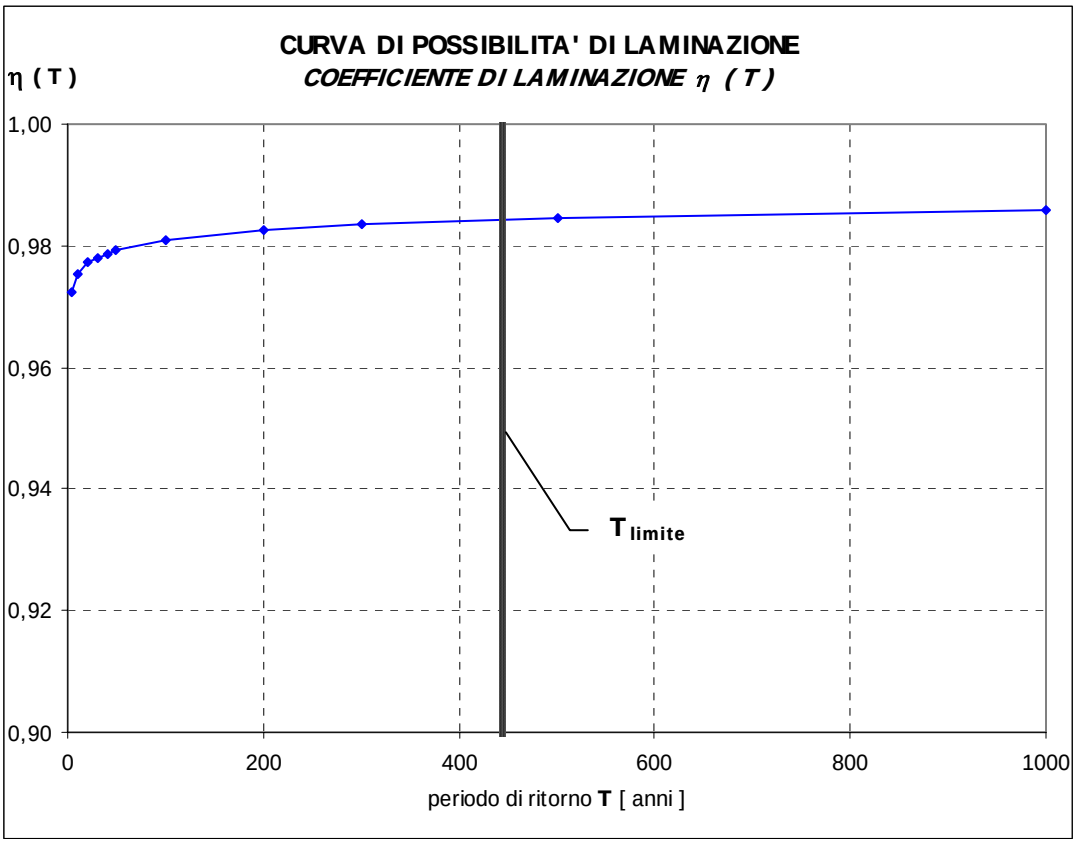


Figura 24a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Agrasina. Utilizzo del 3°scarico di superficie.

I coefficienti di laminazione sono prossimi all'unità, determinando una ridotta influenza, per il funzionamento simulato, rispetto alla riduzione del colmo di piena, come si evince dalla Figura 24b in cui si confrontano direttamente le portate in uscita dal serbatoio con quelle in entrata.

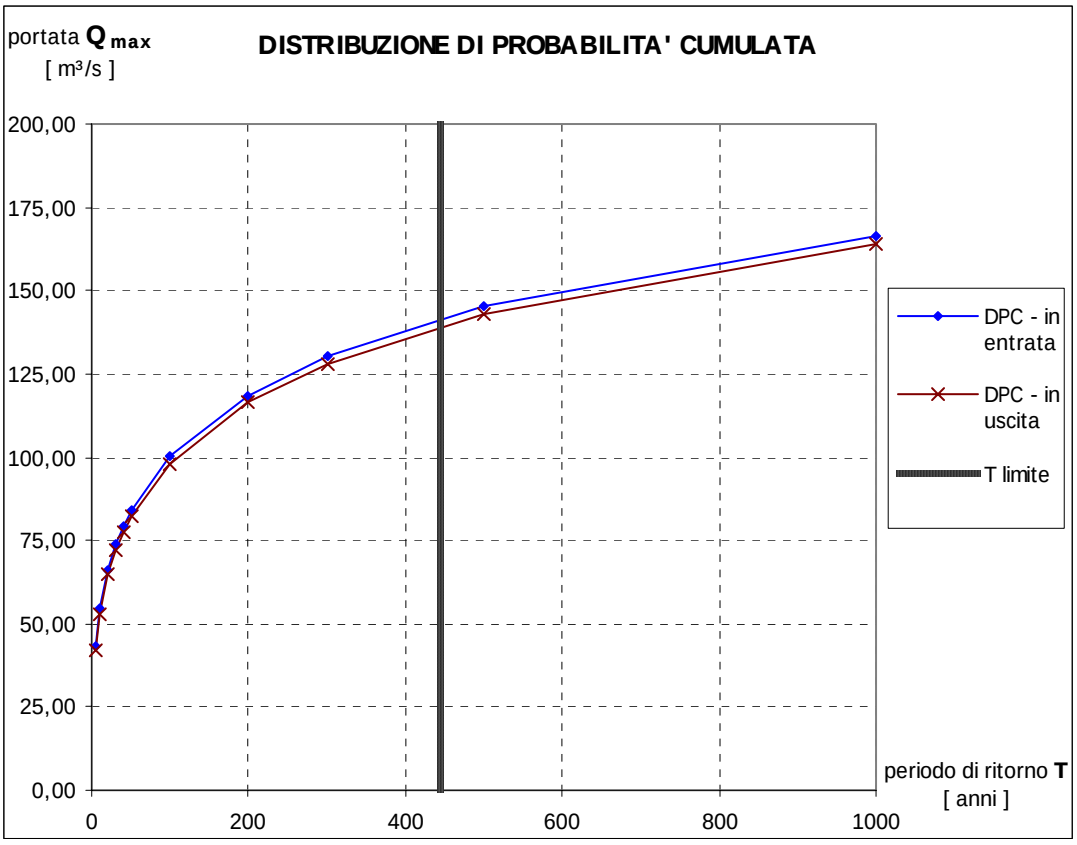


Figura 24b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Agrasina, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso nel caso di funzionamento del solo 3°scarico di superficie.

4.8.3 ALPE CAVALLI.

Anche tale invaso, come il precedente, non riesce a smaltire le portate assegnate, raggiungendo la quota di massimo invaso per idrogrammi sintetici con periodo di ritorno inferiore a 200 anni. Nei calcoli si è considerato aperto solo il primo scarico di superficie, costituito da 2 luci presidiate da paratoie a ventola ognuna di dimensioni 9.00x2.50m con quota soglia a 1497.58m s.l.m.. L'invaso, però, è dotato anche di un secondo scarico di superficie, costituito da una luce presidiata da paratoia a settore di dimensione 12.50x3.45m con quota soglia a 1495.85m s.l.m. Entrambi gli scarichi, che confluiscono verso un pozzo del diametro di 5.20m e quindi alle due gallerie di scarico (ϕ=3.90m e ϕ=4.60m), determinano

una portata complessiva smaltibile di circa 336 m³/s, molto superiore rispetto ai 249 m³/s stimati per la portata millenaria.

Dalla Figura 25a si nota che, comunque, già per tempi di ritorno superiori a 100 anni, il coefficiente di laminazione si attesta su un valore di poco inferiore a 0.7, senza poi variare ulteriormente, permettendo comunque una buona laminazione.

Se, invece, si considera aperto solo il 3° scarico di superficie, si ottengono, oltre a valori del coefficiente di laminazione leggermente inferiori al caso precedente, anche un periodo di ritorno molto più elevato, superiore ai 2000 anni.

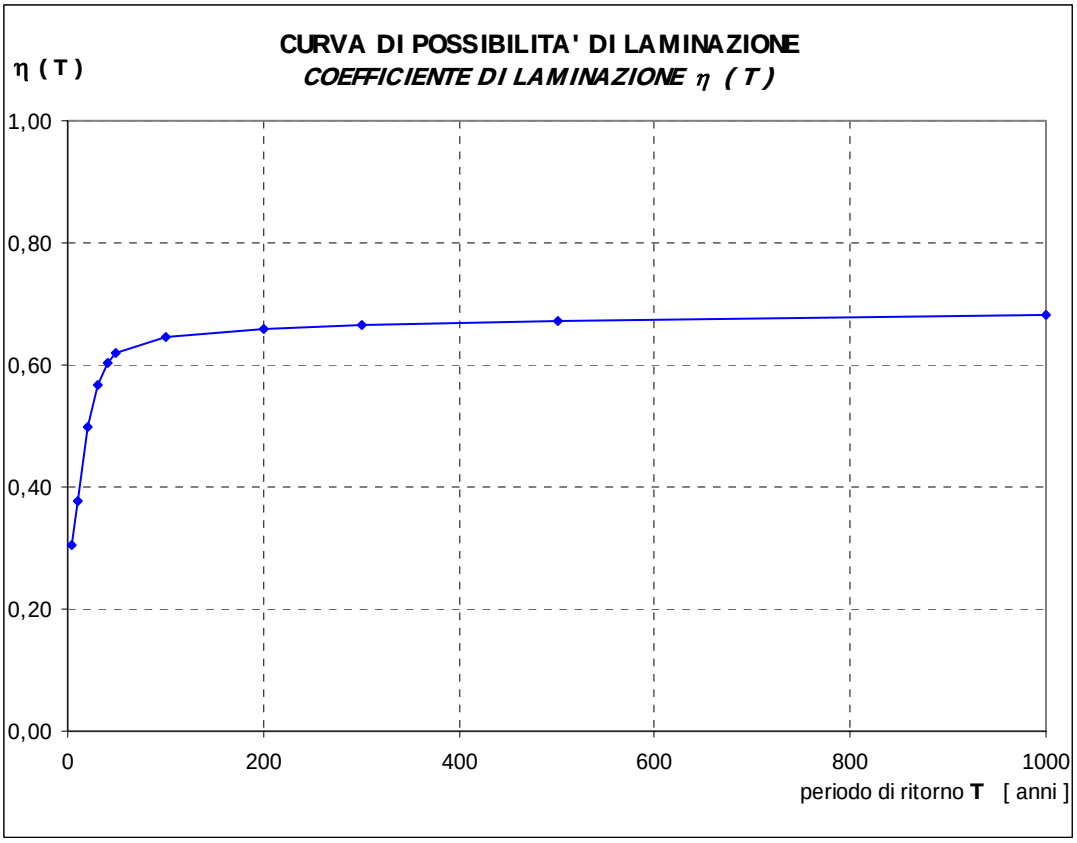


Figura 25a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Alpe Cavalli, nel caso di utilizzo del 3° scarico di superficie.

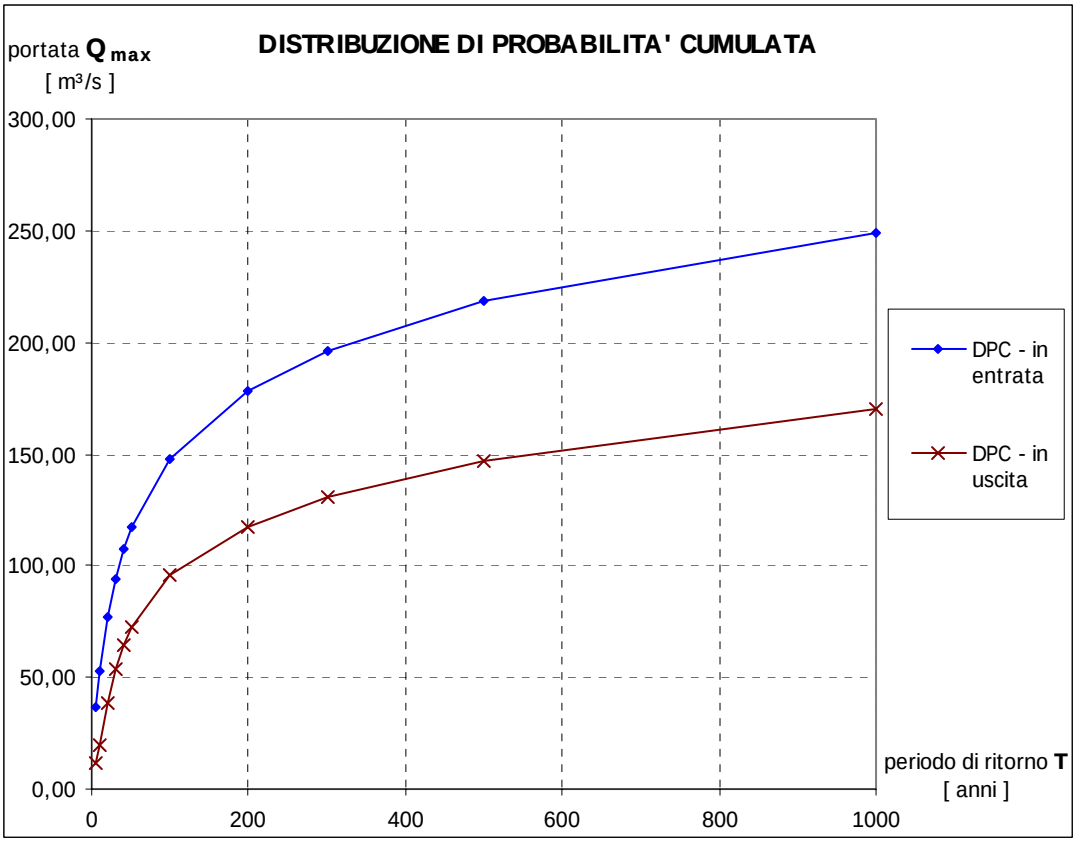


Figura 25b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Alpe Cavalli, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 3°scarico di superficie).

4.8.4 ALPE LARECCHIO.

L'unico scarico di superficie, posto nell'estremità destra della diga, e costituito da una soglia sfiorante con quota soglia a 1835.60 m s.l.m., con una lunghezza complessiva di 25.00m e massimo battente di 0.90m. Esso risulta più che sufficiente a laminare l'onda di piena in ingresso, senza richiedere l'intervento dello scarico di alleggerimento. Questo, costituito da una paratoia piana delle dimensioni 3.00x2.20m con soglia a quota 1834.00m s.l.m., garantirebbe lo smaltimento di ulteriori 20 m³/s che, se confrontati con la portata millenaria stimata in circa 36 m³/s comporterebbe un'ulteriore innalzamento del livello di sicurezza dell'invaso. In questo caso, il coefficiente di laminazione risulta essere inferiore a 0.5, senza significative variazioni per tempi di ritorno superiori a 400 anni.

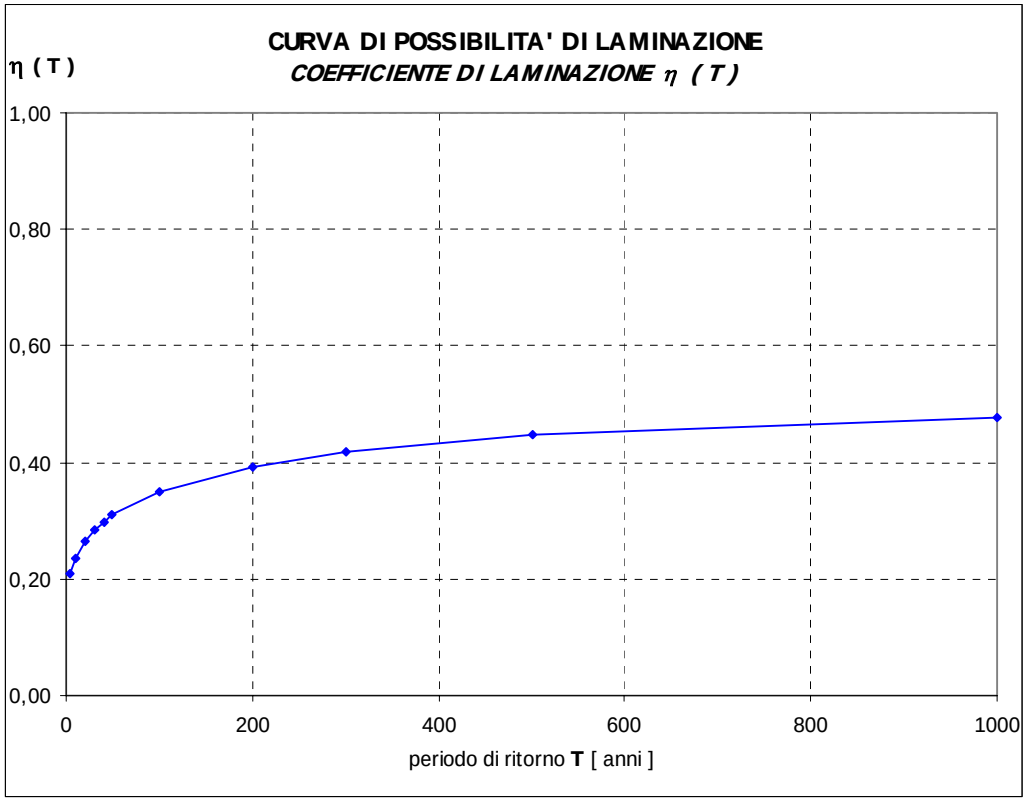


Figura 26a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Alpe Larecchio. Utilizzo del 1°scarico di superficie.

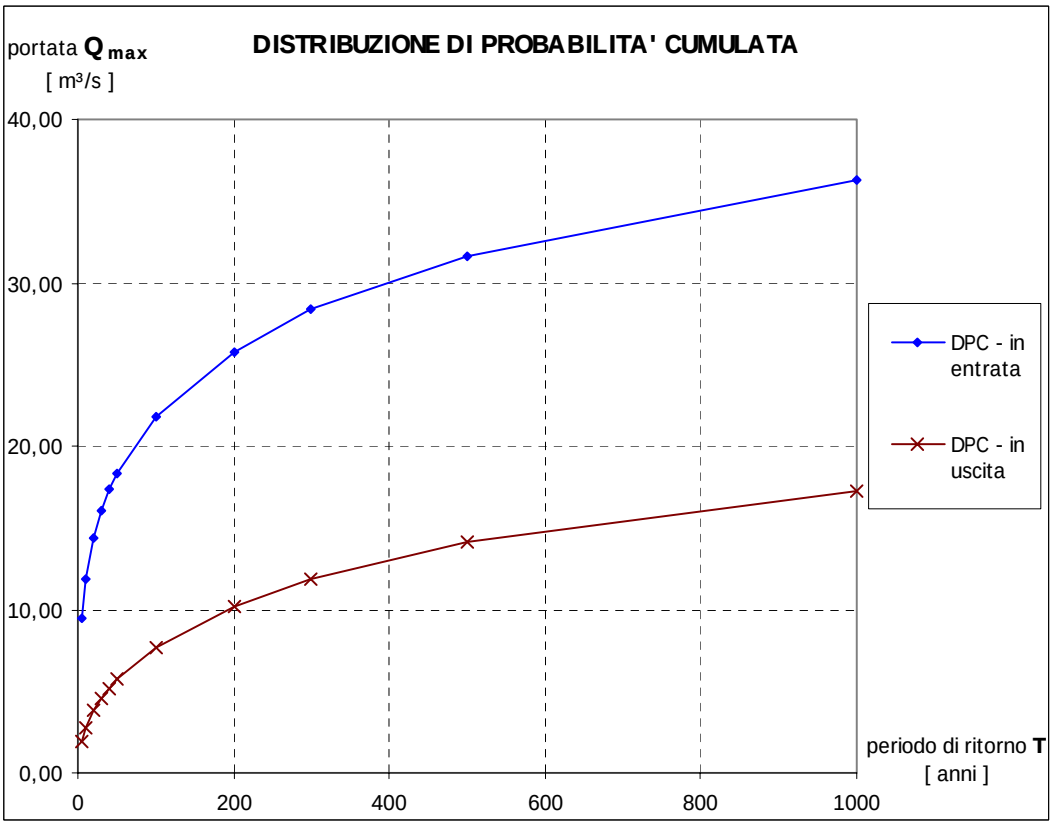


Figura 26b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Alpe Larecchio, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 1°scarico di superficie).

4.8.5 BUSIN INFERIORE.

Anche questo invaso garantisce ampi margini di sicurezza, dato che il solo scarico considerato nell'analisi, identificabile nel primo scarico di superficie, ubicato in sponda sinistra, e costituito da due luci libere ognuna larga 5.00m con quota soglia a 2387.00m s.l.m., permette di smaltire l'onda in ingresso anche per tempi di ritorno superiori ai 1000 anni. A questo, comunque, si può aggiungere anche il secondo scarico di superficie, costituito da una paratoia a ventola di dimensioni 4.00x2.00m, con soglia a quota 2385.00m s.l.m.; l'azionamento normale della paratoia è di tipo oleodinamico, con possibilità di manovra a mano e per spinta idrica tramite galleggianti, che permette di smaltire altri $30.6 m^3/s$ con livello al massimo invaso.

Tale invaso permette di avere un coefficiente di laminazione sempre inferiore a 0.2, con valori costanti oltre i 400 anni di tempo di ritorno (Figura 27a). Tale vantaggio è ancor più evidenziato dalla Figura 27b in cui si può notare la notevole differenza tra le due curve di distribuzione di probabilità.

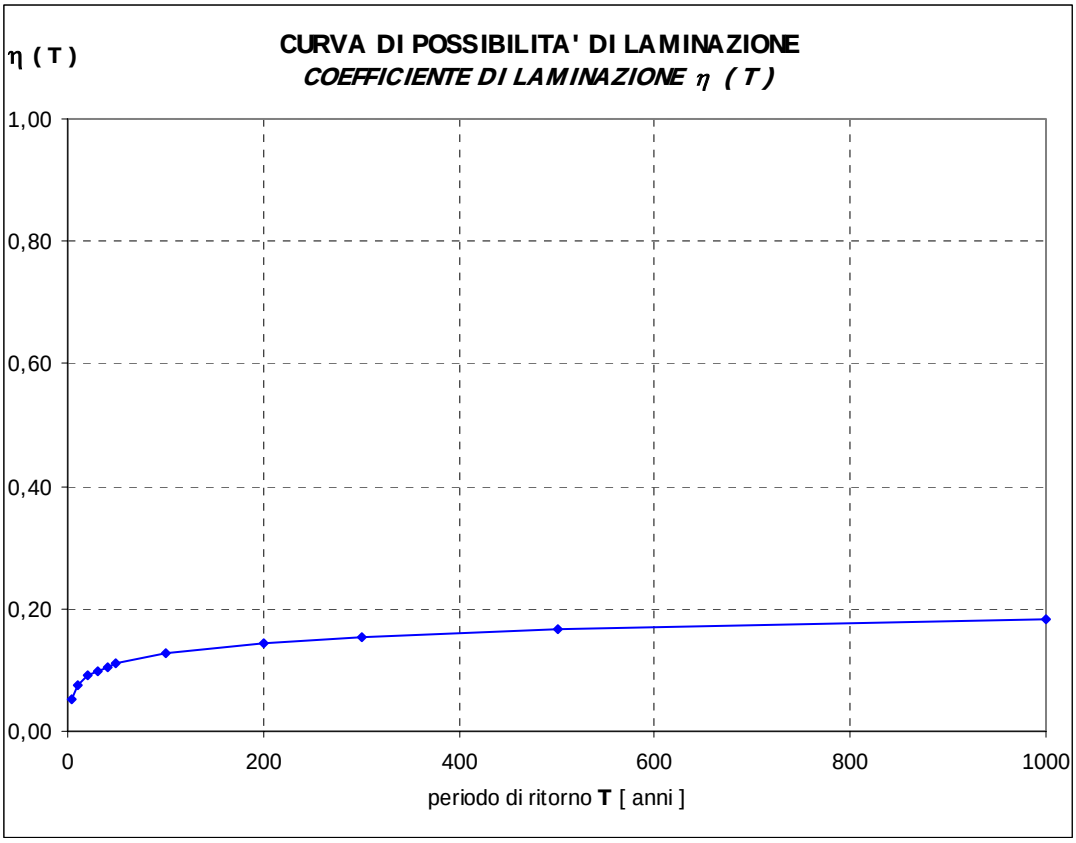


Figura 27a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Busin Inferiore. Utilizzo del 1°scarico di superficie.

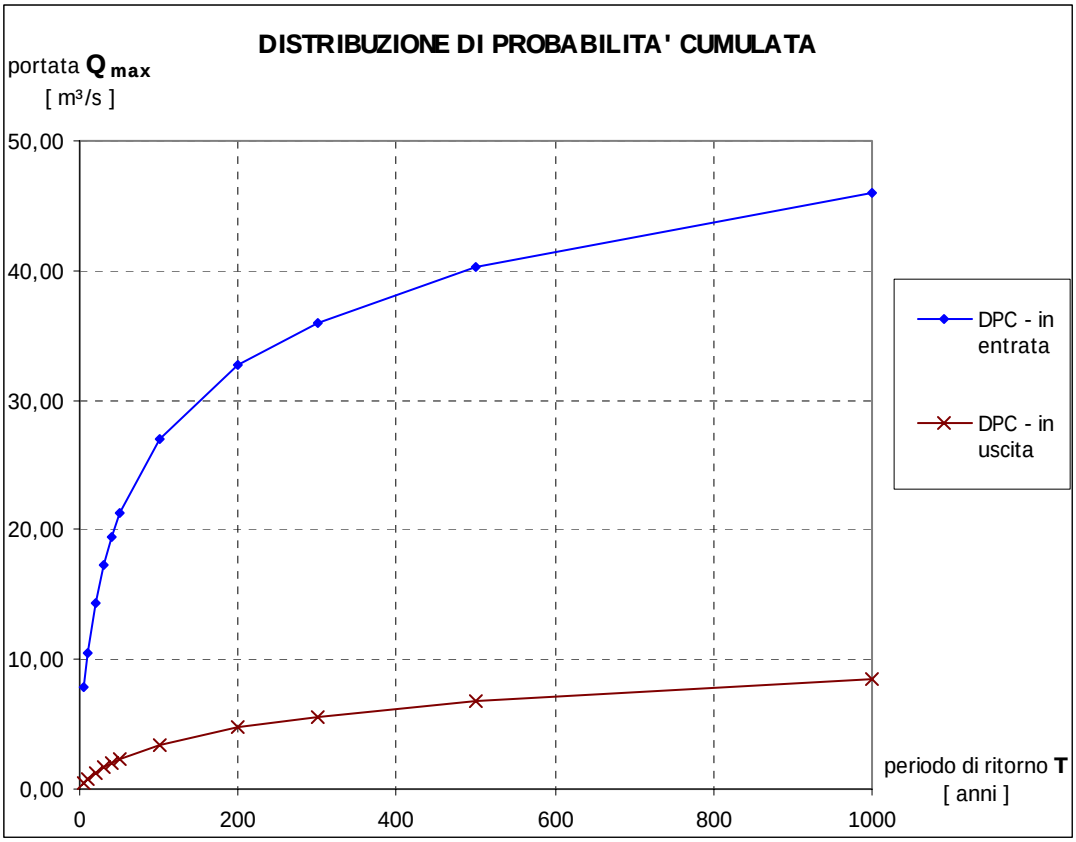


Figura 27b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Busin Inferiore, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 1°scarico di superficie).

4.8.6 CAMPLICCIOLI.

Il tempo di ritorno limite maggiore ai 2000 anni, evidenzia la buona risposta di tale invaso nei confronti della gestione di un fenomeno di piena. Tale valore è stato ottenuto considerando il solo scarico di superficie presente, composto da una paratoia a settore di 13.50x4.00m, con quota soglia a 1356.00m s.l.m., considerata, come per gli altri casi, completamente aperta per tutta la durata dell'evento.

Il coefficiente di laminazione, per tempi di ritorno superiori a 200 anni, si attesta intorno al valore 0.8, determinando una non cospicua riduzione dei valori al colmo dell'onda di piena, in particolare per gli eventi più gravosi.

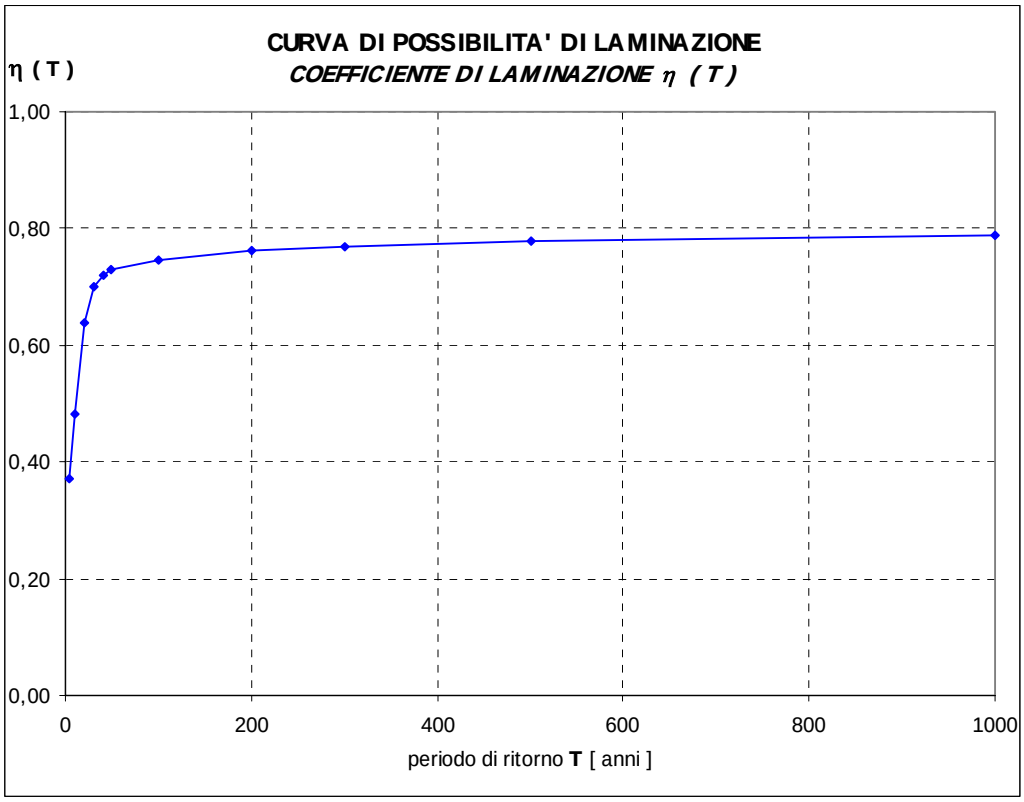


Figura 28a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Campliccioli. Utilizzo del primo scarico di superficie.

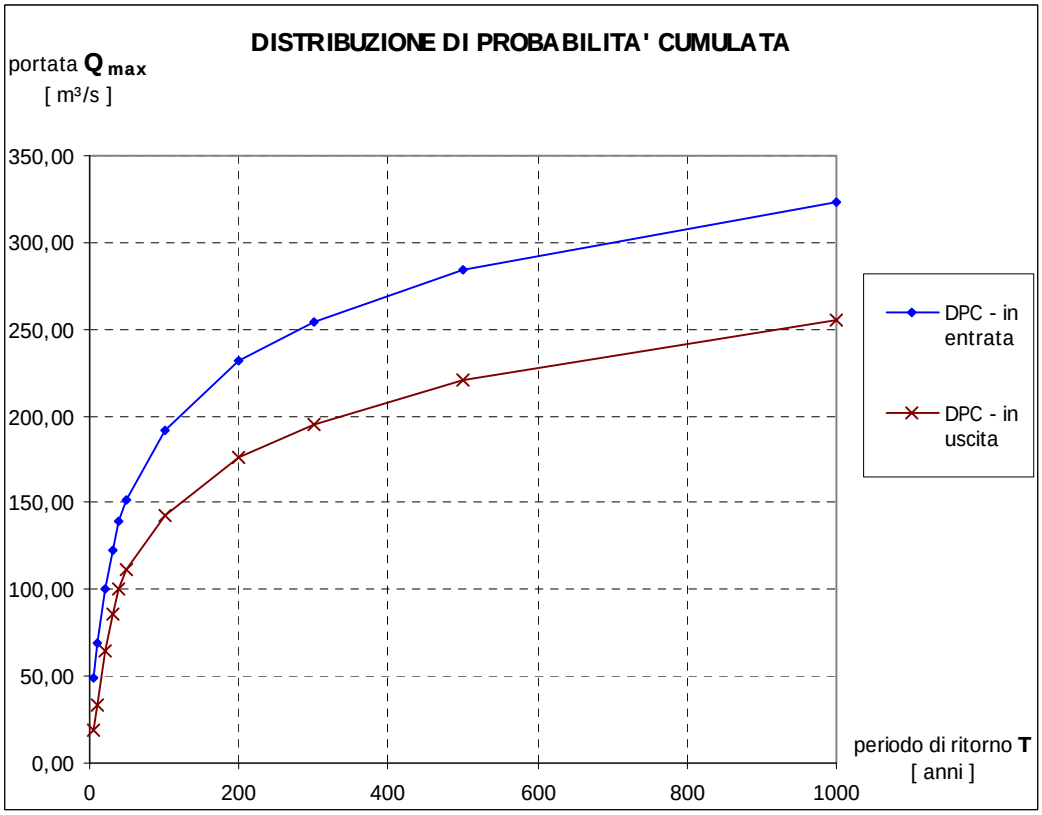


Figura 28b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Campliccioli, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 1°scarico di superficie).

4.8.7 CAMPOSECCO.

Il periodo di ritorno limite risulta essere inferiore a 100 anni, valore ottenuto impiegando l'unico scarico di superficie presente, identificato nello sfioratore libero in fregio al coronamento di sinistra; esso ha quota ciglio a 2334.75m s.l.m., è composto da 29 luci ognuna larga 3.65m con uno sviluppo complessivo di 105.85m e con massimo battente sulla soglia pari a 0.25m, ed è capace di evacuare fino a 25.0 m³/s con il livello nel serbatoio al massimo invaso. L'unico modo per poter smaltire le portate in ingresso, sarebbe quello di intervenire tramite lo scarico di fondo che, posto ad una quota di 2316.00m s.l.m., permetterebbe di smaltire altri 33.4 m³/s.

Si ricorda, però, che quest'ultima ipotesi non è consigliabile, in quanto l'apertura di luci di fondo (normalmente di piccolo diametro) rappresenta un rischio, in quanto, in caso di otturazione da detriti di tali luci, si perderebbe completamente la possibilità di uno svuotamento repentino del serbatoio. Pertanto si è deciso di smaltire l'onda di piena considerando solo come effettivamente impiegabili gli scarichi di superficie.

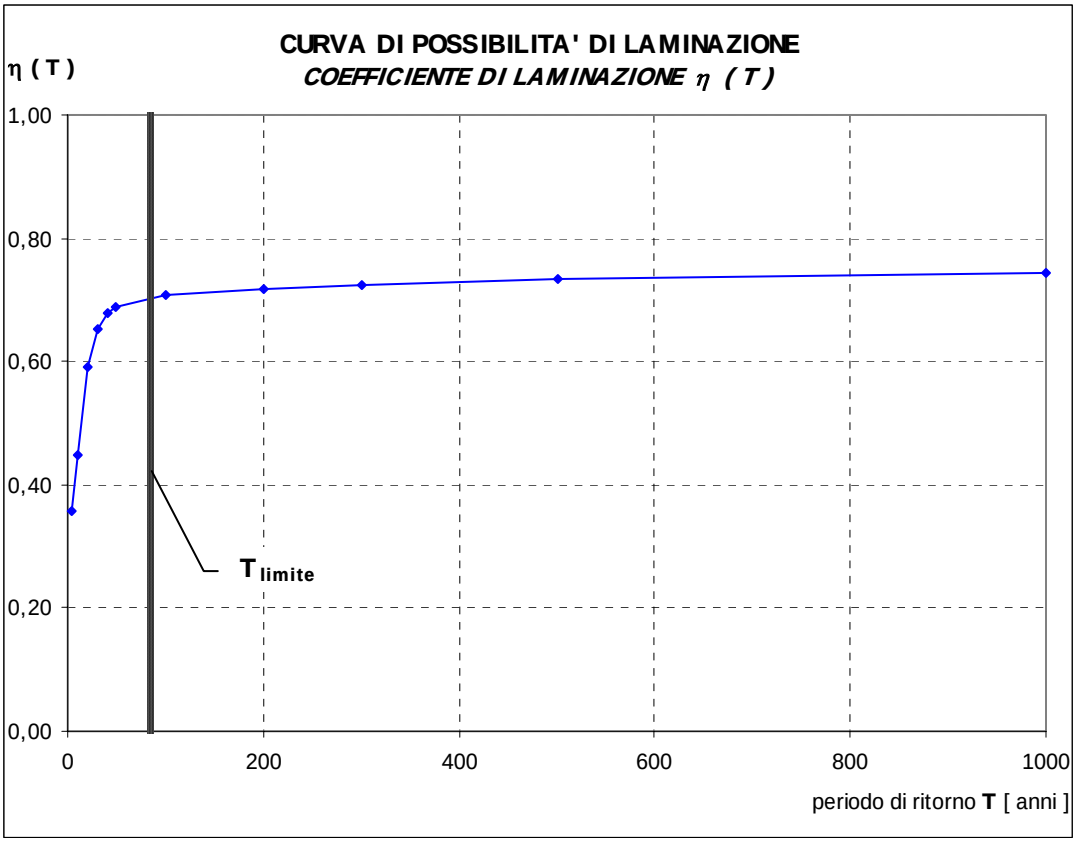


Figura 29a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Camposecco. Utilizzo del 1°scarico di superficie.

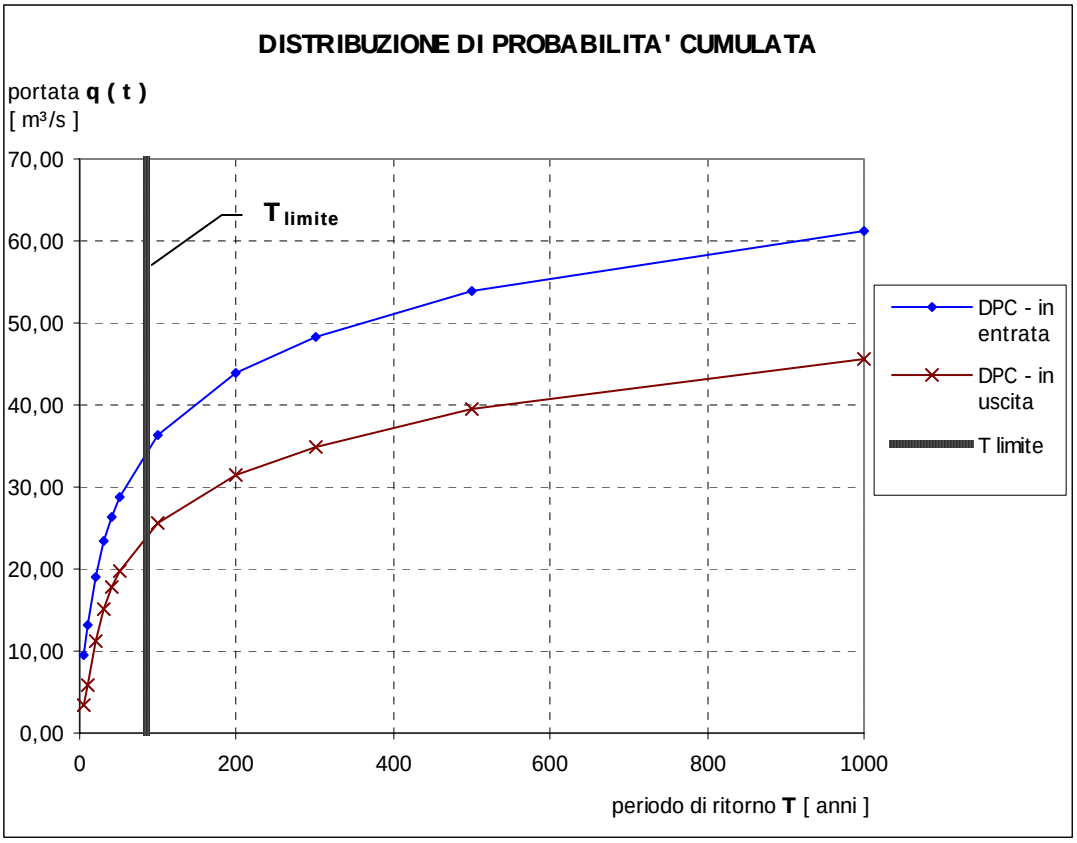


Figura 29b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Camposecco, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 1°scarico di superficie).

4.8.8 CEPPO MORELLI.

Nell'analisi si è considerato come utilizzabile solo lo scarico di superficie, composto da 8 luci libere, ognuna da 10.50m, con soglia a quota 780.75m s.l.m., ottenendo un periodo di ritorno limite inferiore a 50 anni. L'utilizzo aggiuntivo anche dello scarico di alleggerimento, costituito da 2 luci con soglia a quota 770.00m s.l.m., intercettate da paratoie piane di 3.00x4.00m funzionanti in parallelo, garantirebbe lo smaltimento di ulteriori $240 m^3/s$ per un totale, se sommati ai circa $410 m^3/s$ effettivamente evacuati dallo scarico di superficie, di $650 m^3/s$.

In questo caso, però, si deve osservare che l'apertura dello scarico di alleggerimento in questione è da vagliare con maggior attenzione, in quanto esso non è posto in prossimità dello scarico di superficie, ma ben 10 metri al di sotto, lasciando supporre che esso sia stato previsto per la fase di svuotamento del serbatoio (scarico di alleggerimento vero e proprio) e non come scarico di superficie aggiuntivo.

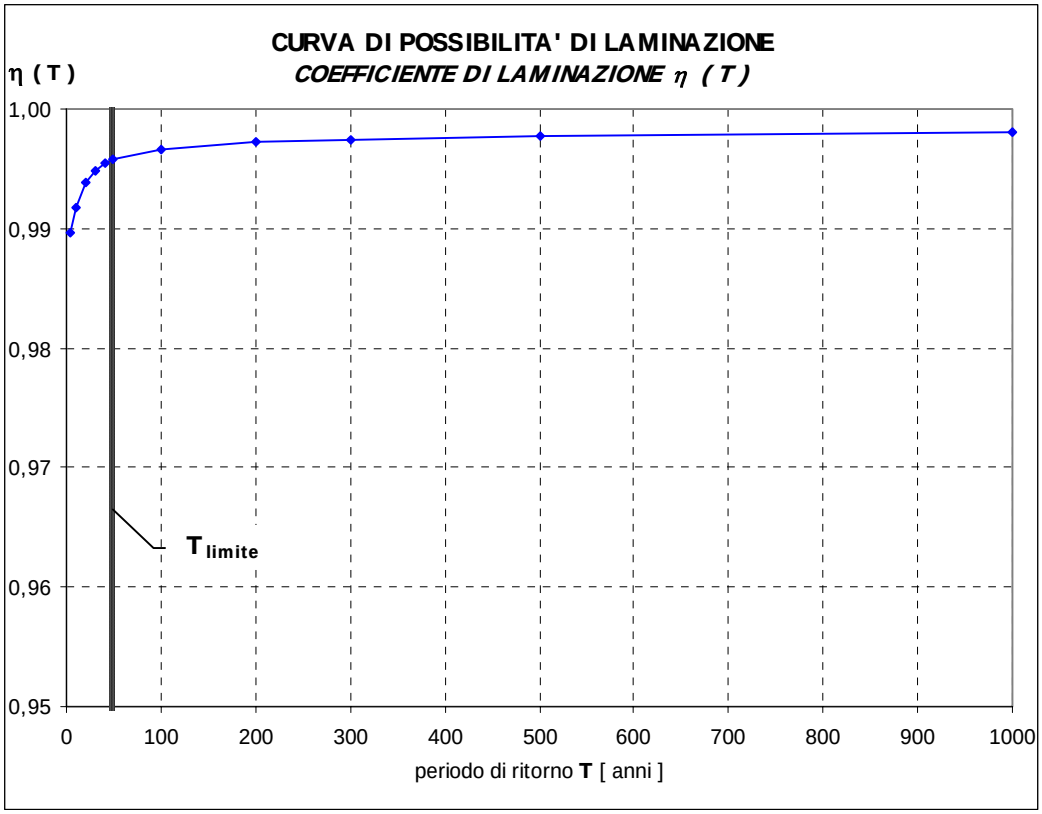


Figura 30a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Ceppo Morelli. Utilizzo del 1°scarico di superficie.

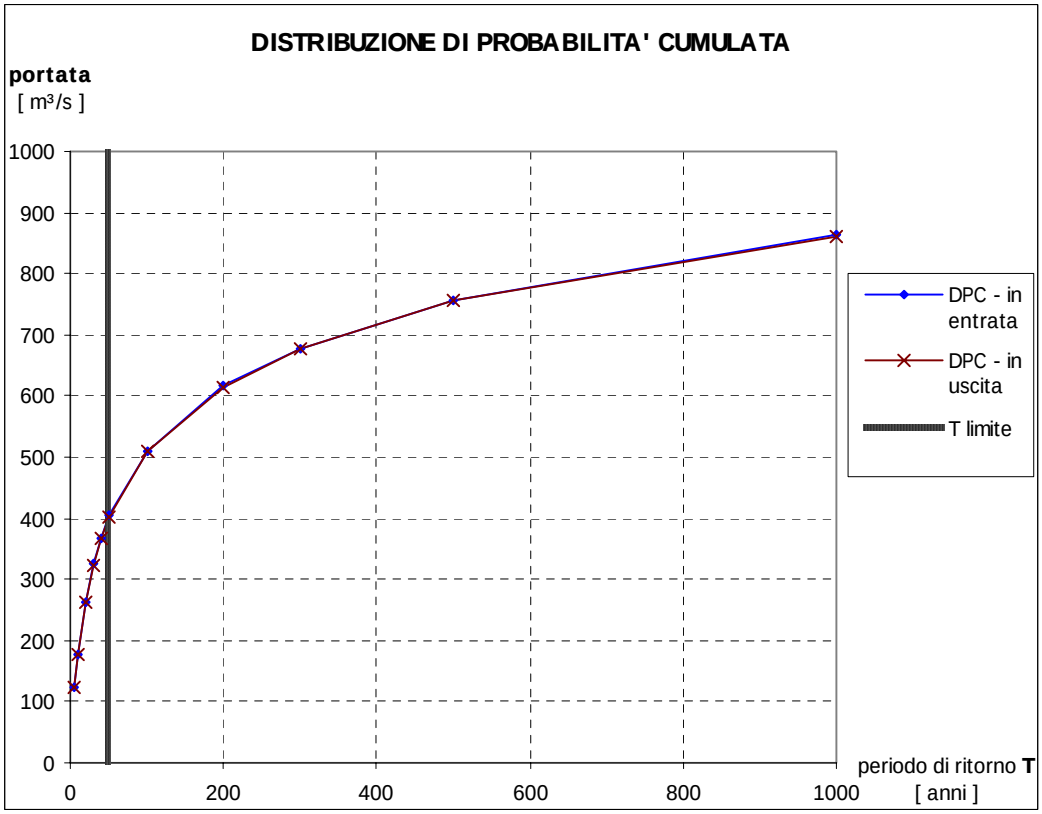


Figura 30b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Ceppo Morelli, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 1°scarico di superficie).

L'invaso di Ceppo Morelli, in base a quanto risulta dai calcoli, ha un coefficiente di laminazione prossimo ad 1, vanificando ogni possibile mitigazione delle onde di piena naturali. Esso, infatti è costituito da un lago di invaso molto ridotto, soprattutto se confrontato con il bacino imbrifero sotteso.

4.8.9 DEVERO.

Lo sbarramento considerato è quello di Devero-Codelago, in quanto la diga di Devero Forcoletta, che chiude un possibile sbocco in sponda sinistra del lago generato, non è dotata di scarichi di alcun tipo.

L'esame è stato condotto considerando completamente aperto solo il primo scarico di superficie, costituito da 3 paratoie a ventola tracimabili larghe 8.50m ciascuna ed alte 2.10m con quota soglia a 1864.90m s.l.m., ottenendo una portata esitabile pari a 218m³/s, corrispondente ad un periodo di ritorno superiore ai 20000 anni. Tale risultato comporta di ritenere del tutto superflua l'apertura del secondo scarico di superficie, costituito da una luce munita di paratoia a ventola tracimabile da 10.00x2.75m e quota soglia a 1864.25m s.l.m.

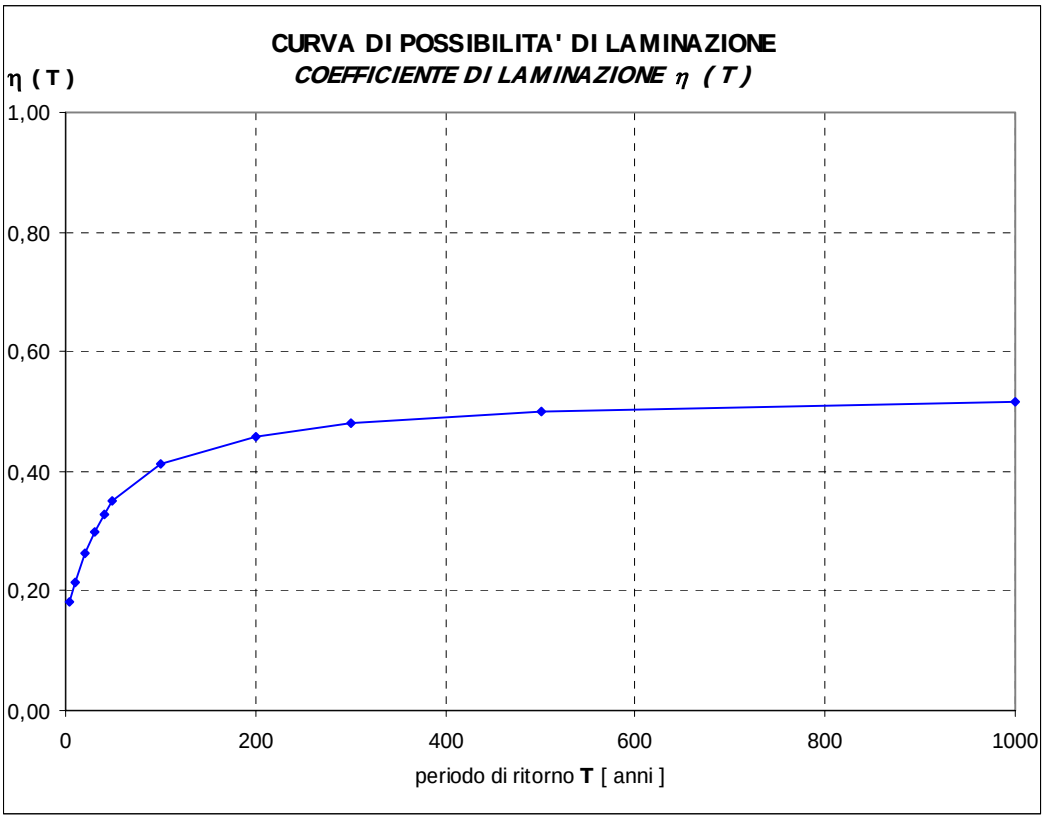


Figura 31a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Devero. Utilizzo del 1°scarico di superficie.

L'invaso, in base alla simulazione effettuata, garantisce un coefficiente di laminazione molto buono, che, per tempi di ritorno superiori a 400 anni risulta sempre inferiore a 0.6.

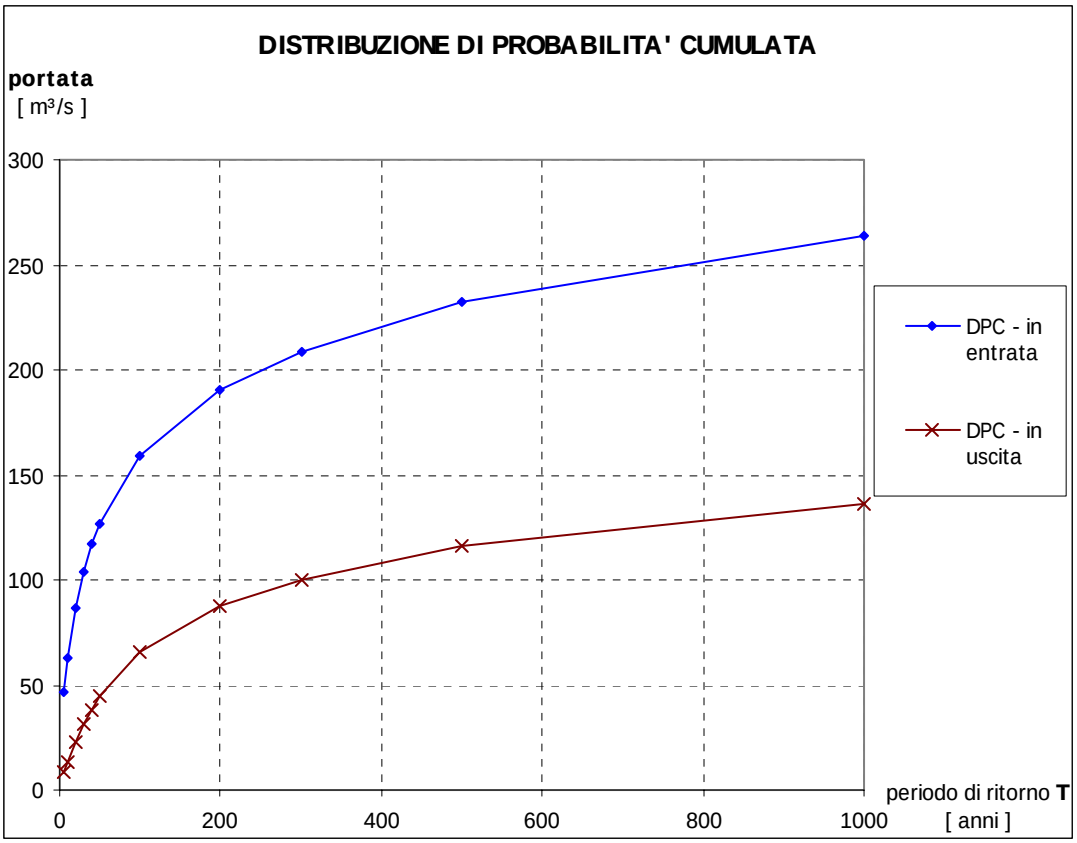


Figura 31b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Devero, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 1°scarico di superficie).

4.8.10 LAGO ANTRONA.

Il lago in questione è di tipo naturale, dotato di una soglia regolata allo sbocco che, non essendo disponibili dati, si è considerata di tipo tracimabile con coefficiente di efflusso $\mu = 0.40$. Il tempo di ritorno limite stimato, quindi, pur risultando molto basso, non assume più un significato legato alla sicurezza dell'impianto come per gli altri casi trattati. La condizione limite, infatti, è stata imposta in un incremento rispetto al livello ritenuto normale di 1.50m che, per il caso trattato, può anche essere superato senza problemi di sicurezza.

4.8.11 LAGO CINGINO.

Lo scarico considerato funzionante è quello di superficie, posto sul lato sinistro del corpo diga e costituito da una soglia libera formata da 13 luci, ognuna lunga 5.00m con quota soglia a 2261.75m s.l.m.. Con questa configurazione, si ottiene che il tempo di ritorno limite è di 343 anni, inferiore al limite di 500 anni ritenuto come valore soglia per garantire il buon funzionamento dell'impianto. Anche in questo caso, però, si ha la presenza di un ulteriore scarico, nello specifico di alleggerimento, non considerato nella precedente analisi. Tale scarico è situato in sponda destra, è costituito da una galleria di diametro D=2.50m intercettata da paratoia piana di dimensioni 1.60x1.60m con soglia all'imbocco a quota 2246.70m s.l.m., che garantisce la possibilità di smaltire ulteriori $42.5 m^3/s$, già da soli prossimi al valore al colmo della piena centenaria.

Si può notare (Figura 32a) che, per tempi di ritorno superiori a 100 anni, il coefficiente di laminazione non subisce ulteriori variazioni, mantenendosi costante su valori di poco inferiori a 0.8. La laminazione offerta, quindi, risulta piuttosto modesta.

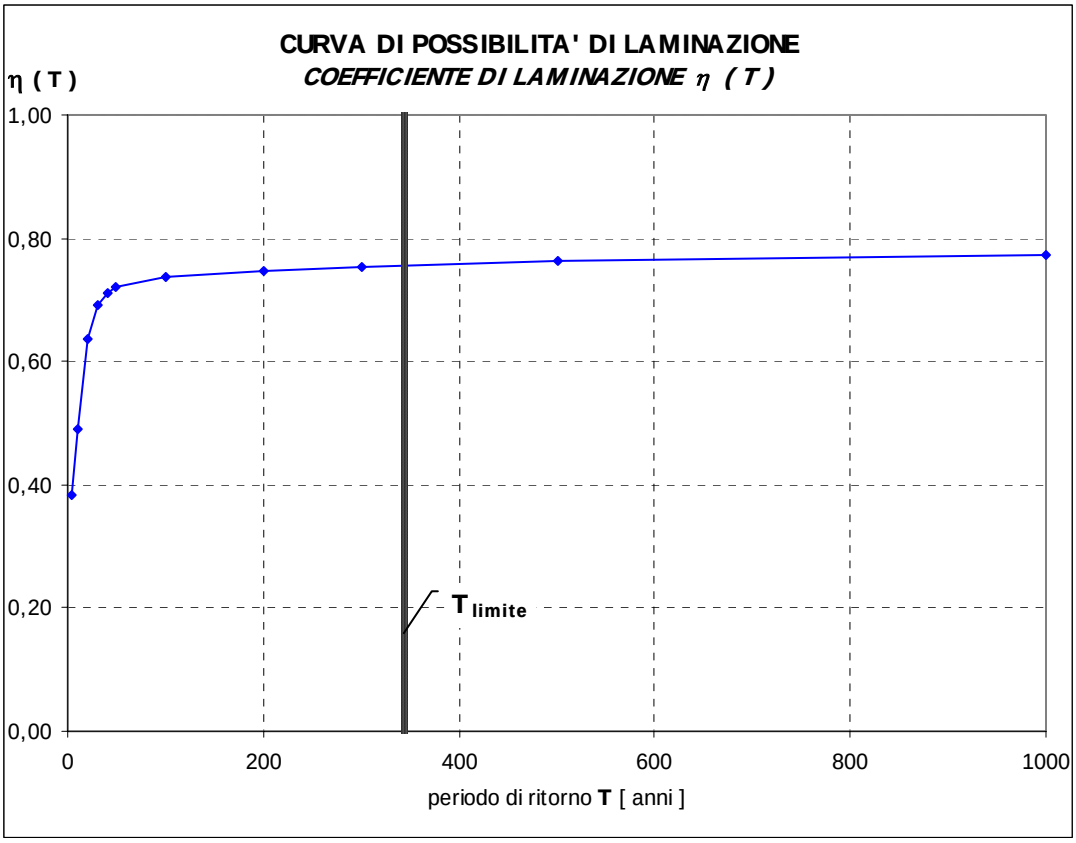


Figura 32a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Lago Cingino. Utilizzo del 1°scarico di superficie.

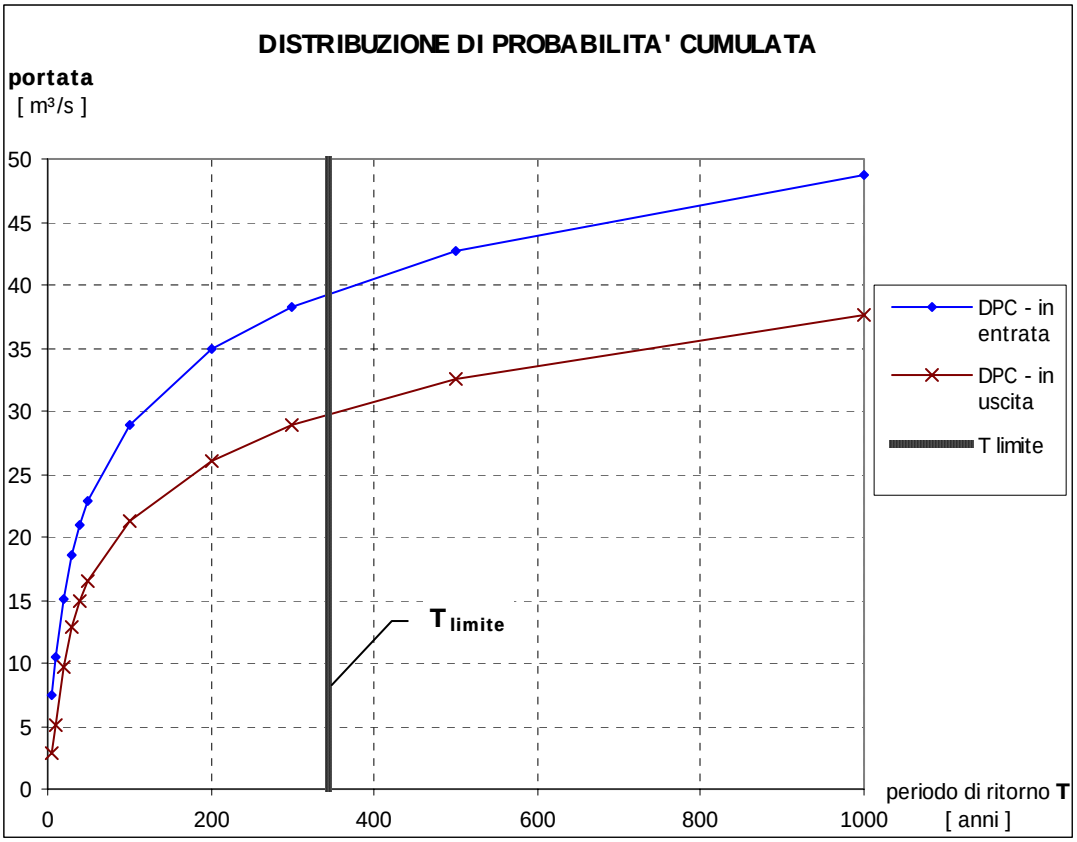


Figura 32b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Lago Cingino, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 1°scarico di superficie).

4.8.12 LAGO D'AVINO.

Il valore limite del periodo di ritorno è superiore ai 1000 anni, ottenuto impiegando l'unico scarico di superficie presente, costituito da uno sfioratore laterale in sponda destra. Esso si compone di una soglia libera in parete grossa non sagomata, a quota 2246.00m s.l.m., lunga 45.25m cui segue un breve tronco di canale di scarico lungo 9.50m.

Il coefficiente di laminazione presenta valori molto bassi, non superando mai il valore 0.5.

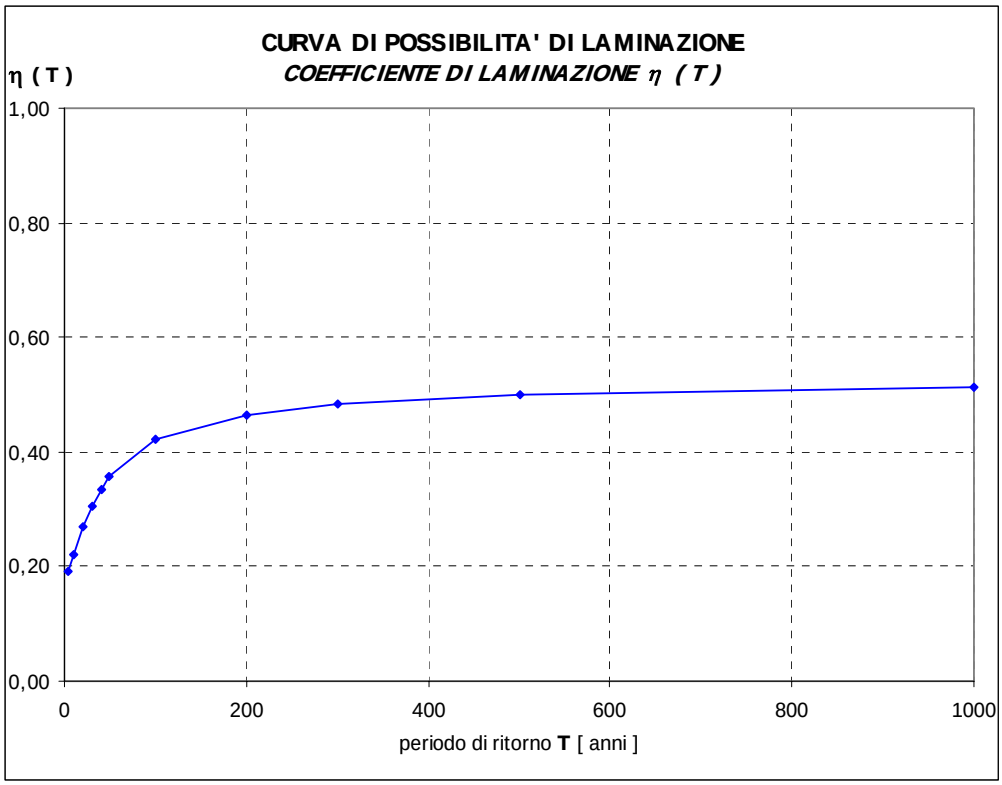


Figura 33a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Lago d'Avino. Utilizzo del 1°scarico di superficie.

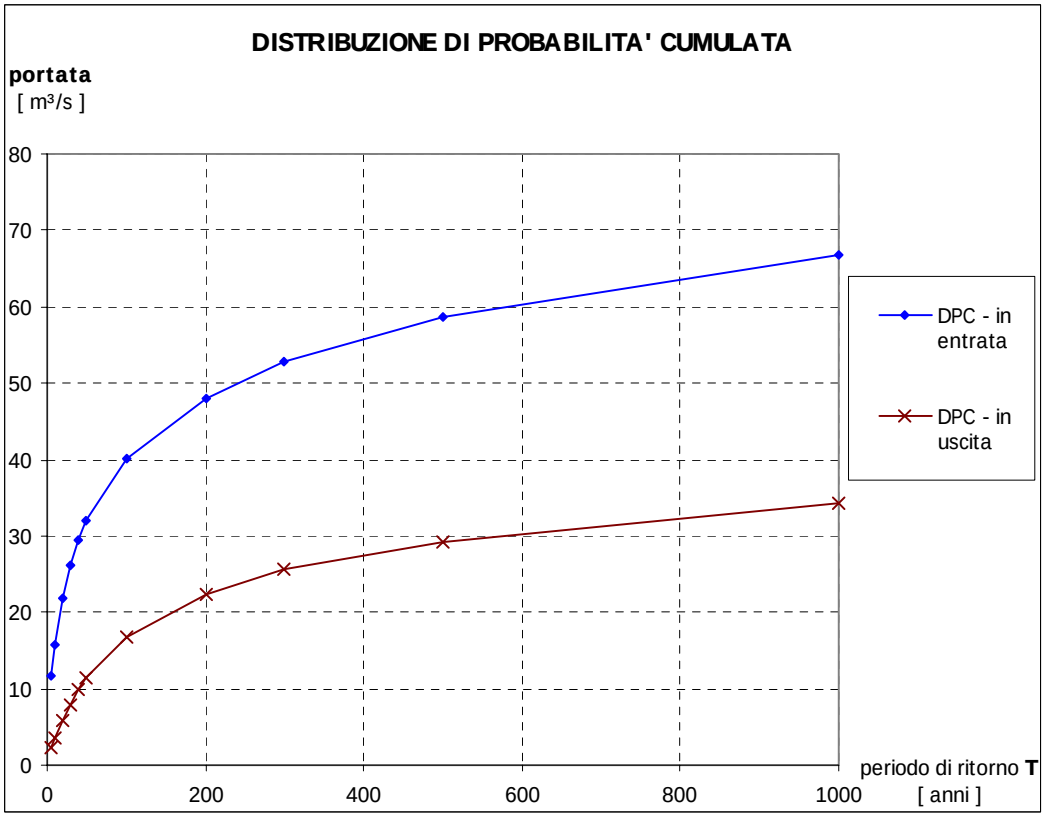


Figura 33b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Lago d'Avino, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 1°scarico di superficie).

4.8.13 MORASCO.

L'invaso di Morasco presenta un periodo di ritorno limite di poco inferiore ai 20 anni. Il valore in questione è stato ottenuto considerando funzionante lo scarico di superficie composto da uno sfioratore a soglia libera in sponda sinistra, con ciglio sfiorante a quota 1815.77m s.l.m. composto da 9 luci della lunghezza di 5.00m ciascuna, con massimo battente d'acqua previsto sulla soglia di 0.97m.

L'apertura aggiuntiva della luce di alleggerimento munita di paratoia piana (5.00x4.30m) situata in sponda sinistra a fianco delle luci libere, con ciglio sfiorante a 1812.47m s.l.m. permetterebbe la fuoriuscita di altri 73 m³/s che, unitamente al fatto di avere a disposizione circa altri tre metri per l'invaso, aumentano la sicurezza dell'invaso (Figura 34 a).

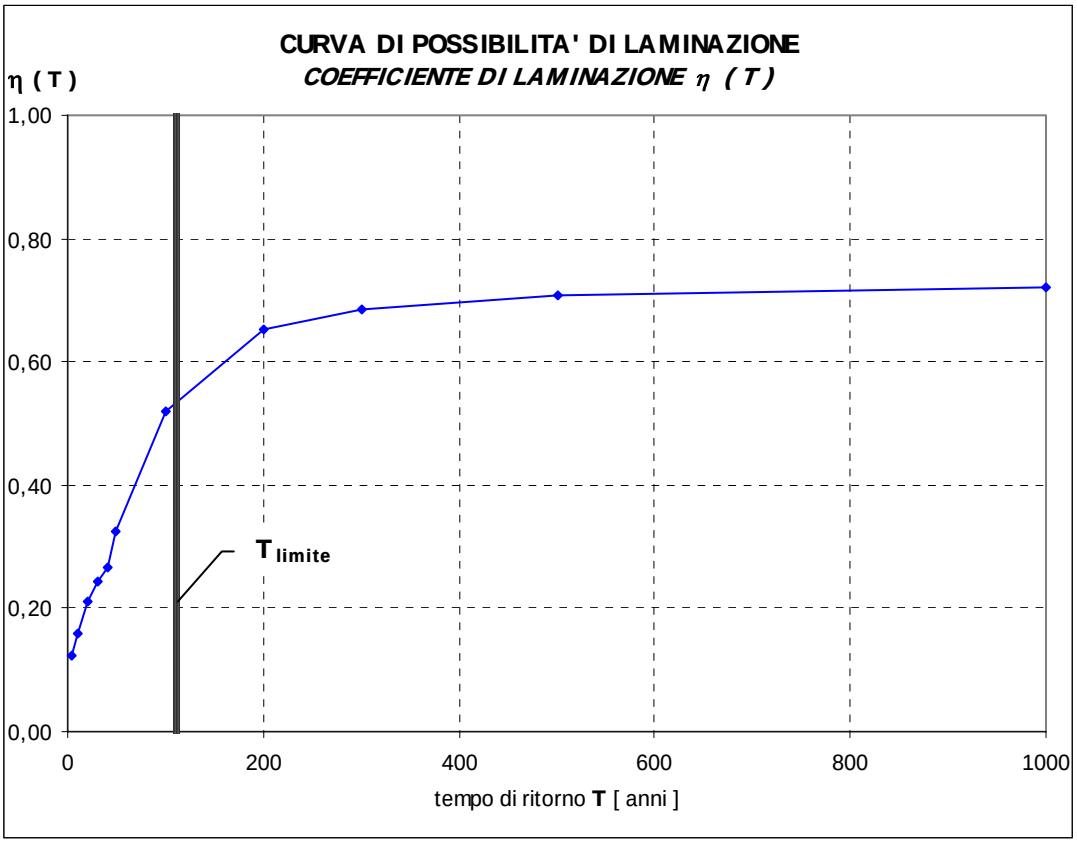


Figura 34a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Morasco. Apertura completa del 1°scarico di superficie e del 1°scarico di alleggerimento.

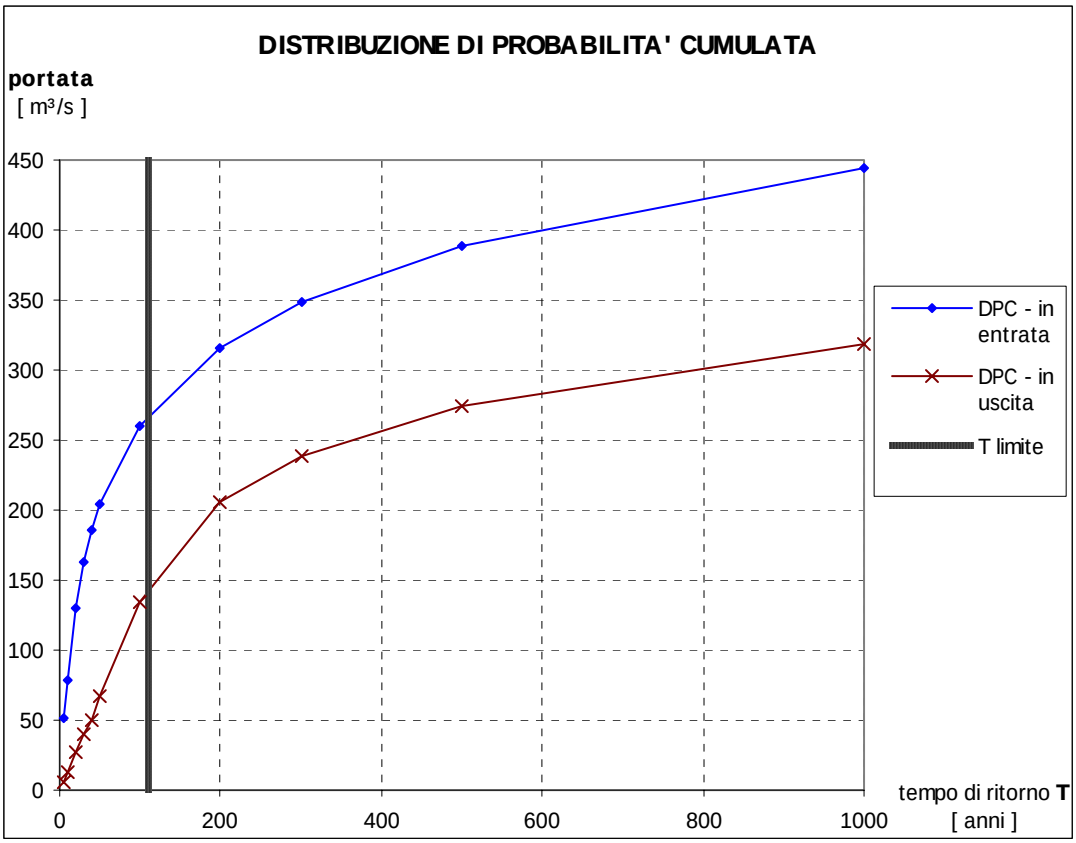


Figura 34b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Morasco, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso. Apertura completa del 1°scarico di superficie e del 1° scarico di alleggerimento.

4.8.14 OBERSEE.

Purtroppo anche per l'invaso di Obersee al momento non sono disponibili dati precisi sul comportamento idraulico. I valori riportati sono stati ottenuti considerando funzionante l'unico scarico di superficie, costituito da una luce libera che immette direttamente le portate evacuate in un canale fugatore di forte pendenza. Il tempo limite risultante, pari a 755 anni, garantisce comunque un buon funzionamento dell'invaso, evidenziato anche dal fatto che per tempi di ritorno superiori a 400 anni il coefficiente di laminazione non subisce ulteriori variazioni.

4.8.15 QUARAZZA.

Lo scarico utilizzato per regolare l'onda di piena è costituito da una soglia ricavata nel tratto ad arco della diga, per uno sviluppo di 31.2m, con battente massimo di 2.25m, corrispondente ad una quota di invaso di 1336.69m s.l.m.. Tale soglia è suddivisa in 9 luci di cui le 7 centrali più larghe rispetto alle due laterali con una portata massima di 210m³/s.

Il valore limite ottenuto per il tempo di ritorno della portata evacuabile (272 anni), pur non essendo modesto, risulta inferiore al limite di 500 anni. Il miglioramento di tale valore però, deve essere operato attraverso l'impiego dello scarico di fondo, in quanto non sono presenti altre luci di superficie o di alleggerimento, con le implicazioni già segnalate per altri invasi.

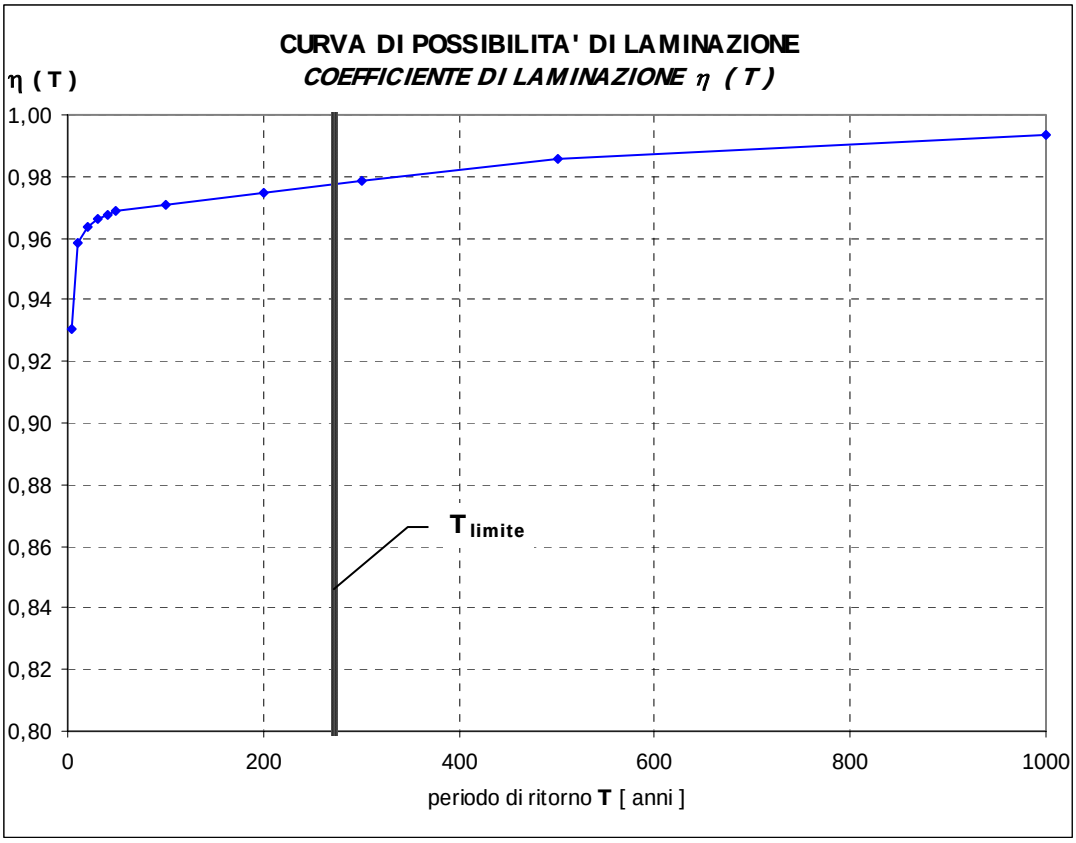


Figura 35a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Quarazza. Utilizzo del 1°scarico di superficie.

Il coefficiente di laminazione (Figura 35a), è sempre prossimo ad uno, indicando, così, che le possibilità effettive di laminazione sono molto basse.

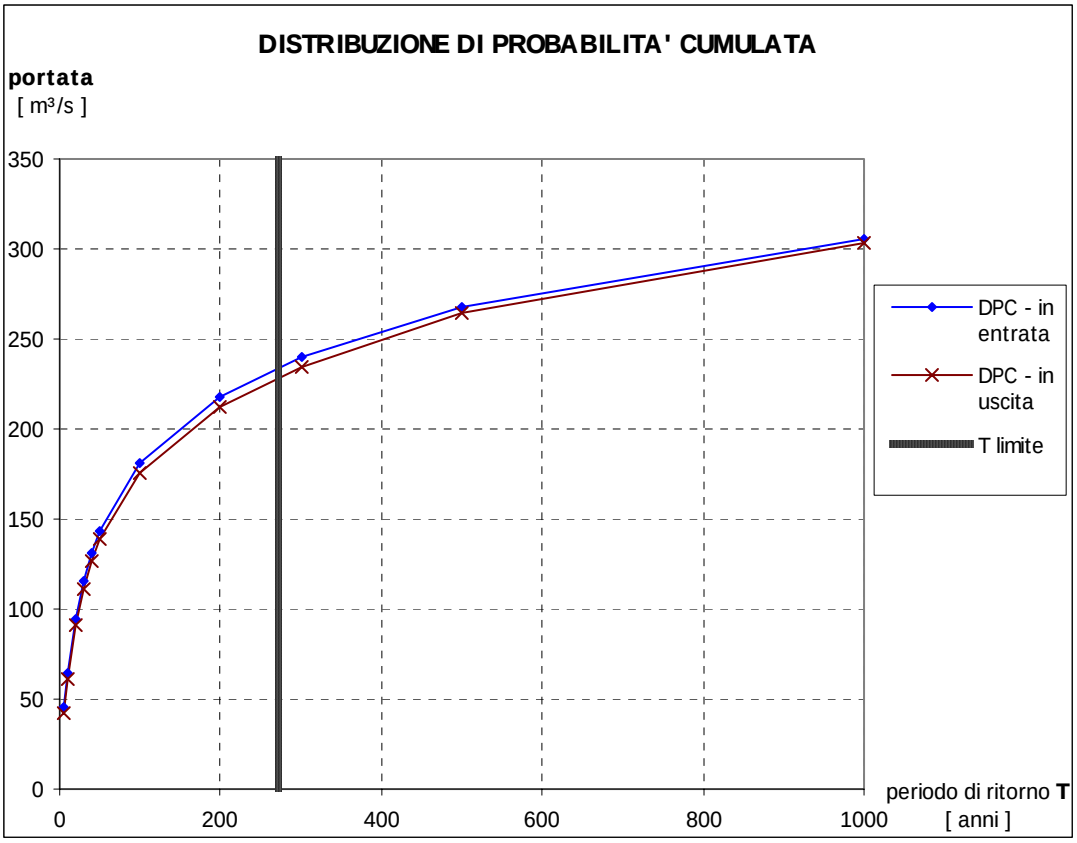


Figura 35b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Quarazza, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 1°scarico di superficie).

4.8.16 SABBIONE.

L'invaso di Sabbione presenta un valore del periodo di ritorno limite inferiore a 20 anni. Esso è stato ottenuto considerando aperto l'unico scarico di superficie, ubicato in sponda sinistra, e composto di una soglia sfiorante con quota a 2460m s.l.m., con lunghezza di 10.00m e massimo battente di 0.60m. Ad una quota leggermente inferiore, però, è posizionato anche lo scarico di alleggerimento che, costituito da una paratoia piana a comando manuale posta in testa al canale fugatore dello scarico di superficie, con soglia a 2458.50 m s.l.m., permette di evacuare altri 8.7 m³/s per un totale, con il livello idrico al massimo invaso di circa18 m³/s, ottenendo, inoltre, di avere disponibili altri 1.50m per invasare volumi di piena.

In quest'ultima configurazione, il periodo di ritorno limite non supera i 150 anni, richiedendo, per aumentare la sicurezza dell'impianto, l'impiego di ulteriori scarichi presenti.

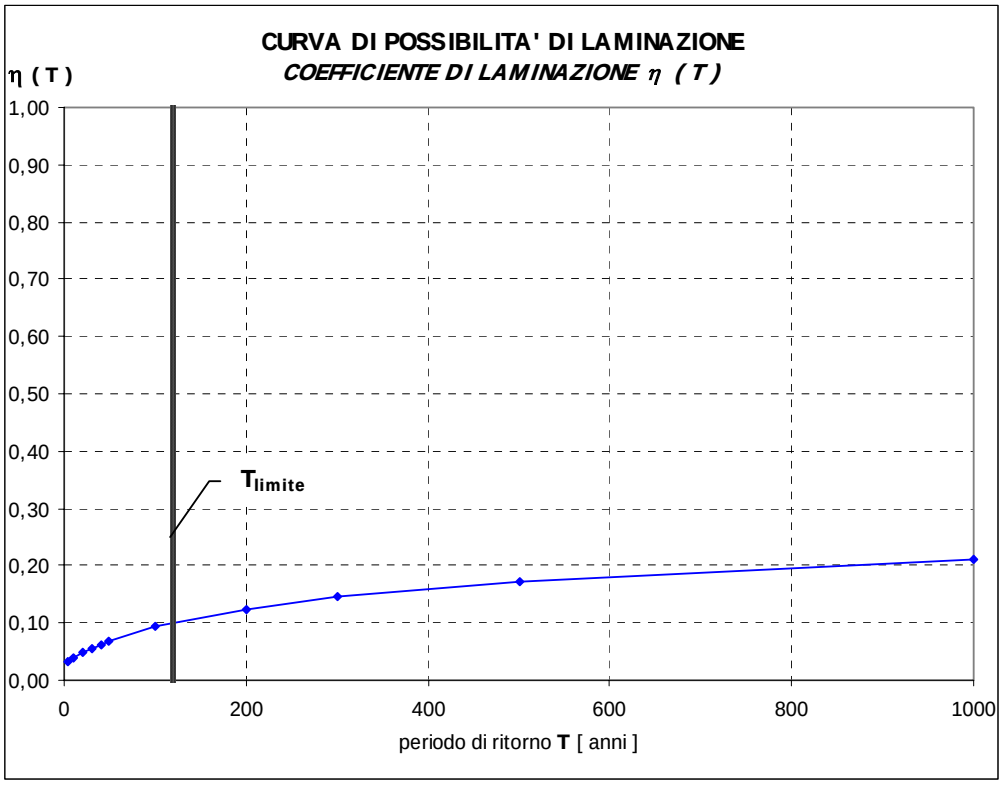


Figura 36a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Sabbione. Apertura completa del 1°scarico di superficie e del 1° scarico di alleggerimento.

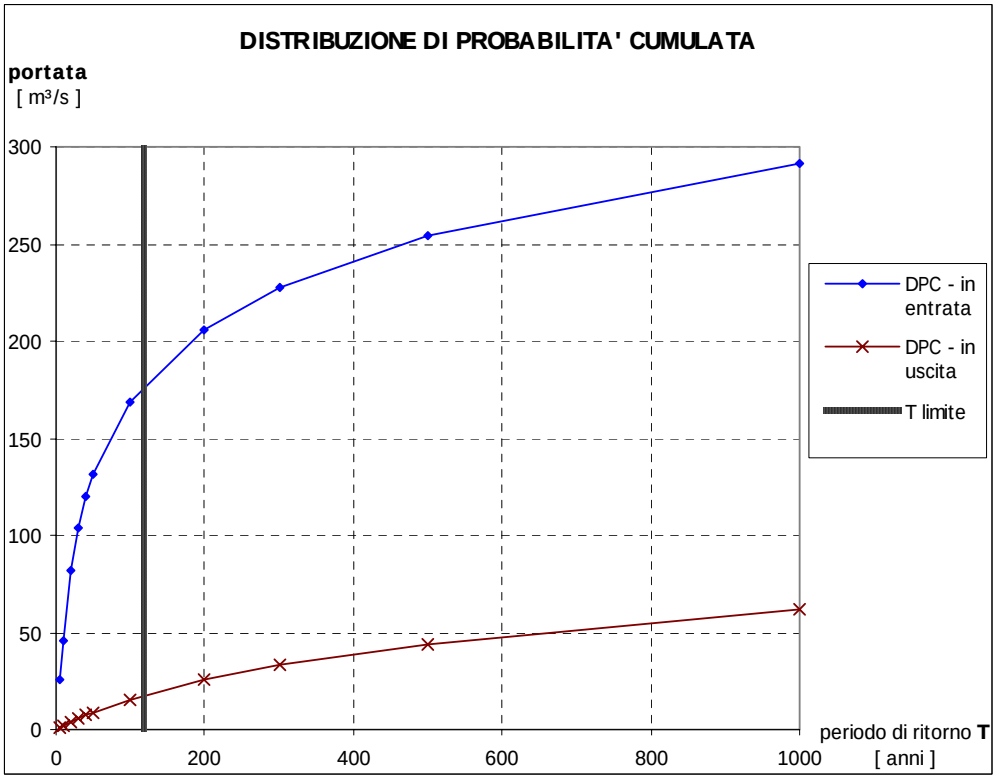


Figura 36b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Sabbione, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso. Apertura completa del 1°scarico di superficie e del 1° scarico di alleggerimento.

4.8.17 VAL TOGGIA.

L'invaso di Val Toggia garantisce un tempo di ritorno superiore ai 5000 anni, impiegando per lo scarico delle portate in ingresso l'unico scarico di superficie, ubicato in sponda sinistra, e composto da una soglia sfiorante con ciglio a quota 2191.00m s.l.m., per una lunghezza totale di 28.00m e massimo battente di 1.00m. L'invaso, inoltre, fornisce un ottimo comportamento nei confronti della laminazione, dato che il coefficiente di laminazione è sempre inferiore a 0.4, anche per tempi di ritorno elevati.

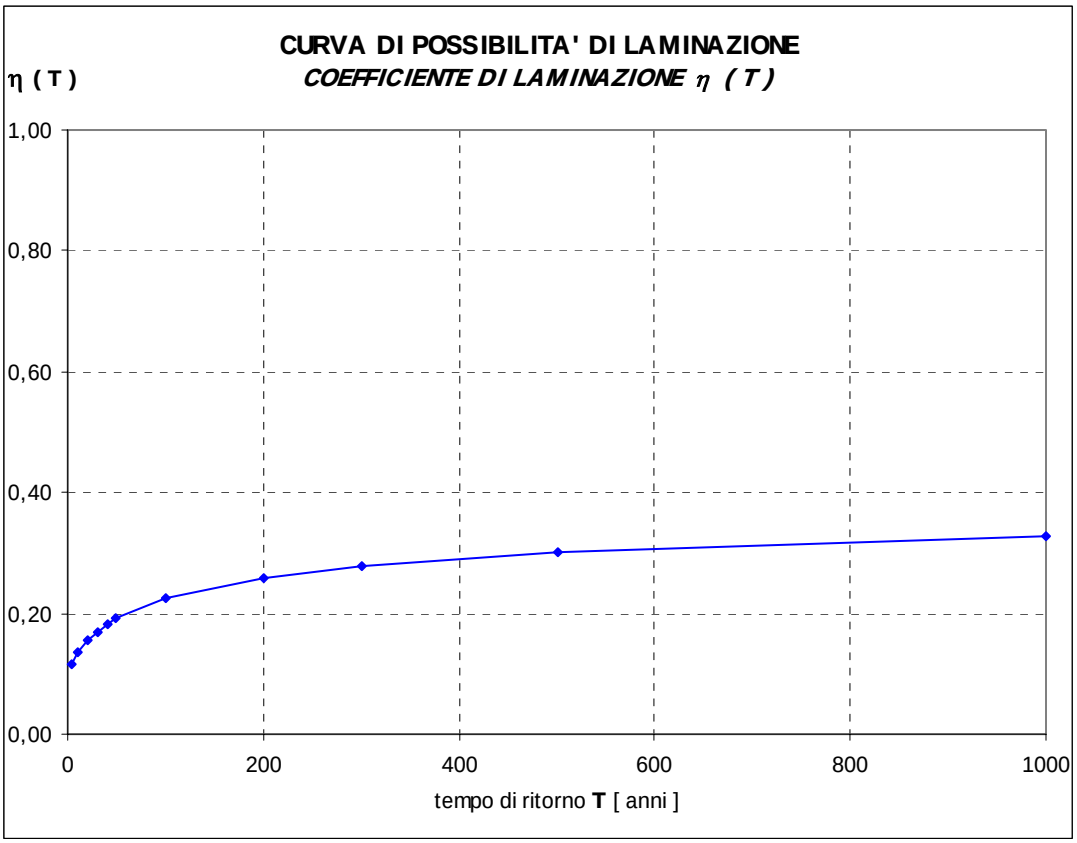


Figura 37a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Val Toggia. Utilizzo del 1°scarico di superficie.

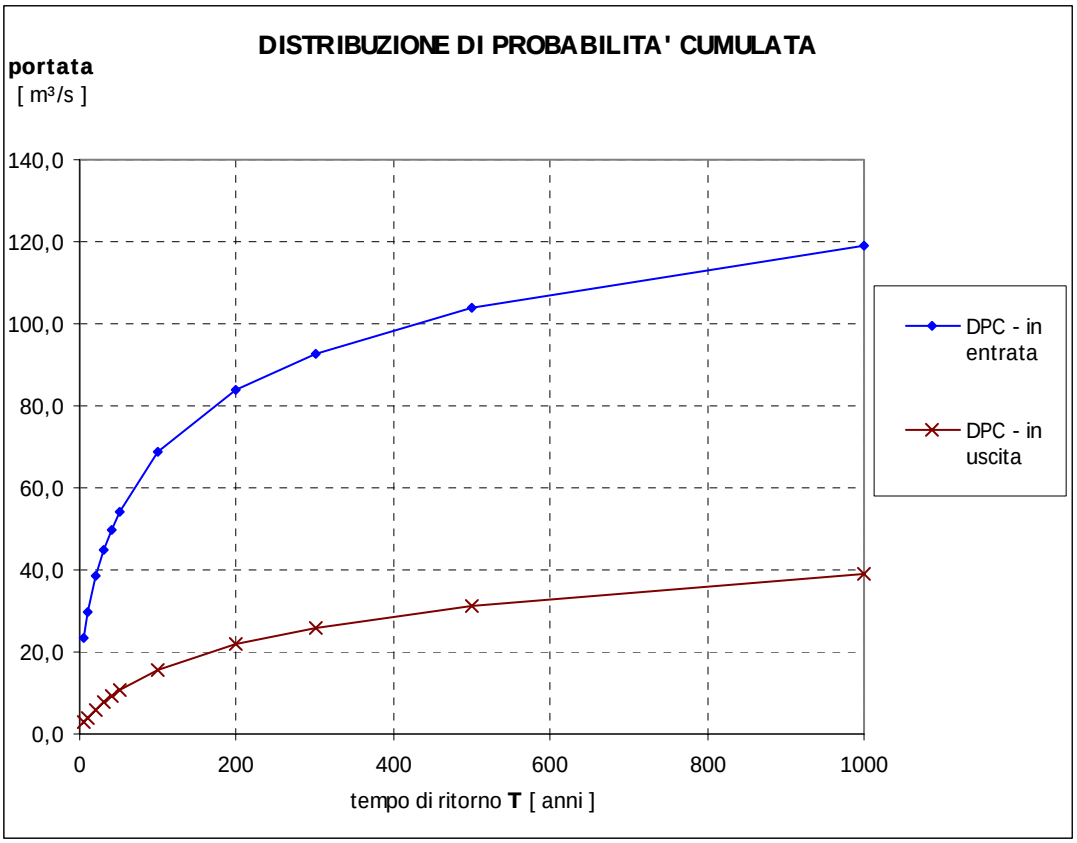


Figura 37b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Val Toggia, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso (utilizzo del 1°scarico di superficie).

4.8.18 VANNINO.

Il tempo di ritorno limite stimato è di circa 68 anni, ottenuto considerando aperto il primo scarico di superficie, costituito da 3 luci con paratoie ad azionamento automatico e manuale (volontario) con sistema oleodinamico a ventola con mantello di legno, ognuna da 7.60x1.00m e soglia fissa a quota 2171.87m s.l.m. Ad esso si può, però, aggiungere il secondo scarico di superficie (luce con paratoia a ventola a comando manuale (volontario) con sistema oleodinamico da 10.00x2.75m e soglia fissa a quota 2170.12m s.l.m.) che può evacuare fino a $94.65 m^3/s$ per un totale dato da entrambi gli scarichi di circa $160.0 m^3/s$, con oltre due metri di invaso in più disponibile.

Utilizzando l'ultima configurazione proposta, si riesce a raggiungere un tempo di ritorno limite di oltre 2000 anni, con coefficienti di laminazione di poco superiori a 0.6 per tempi di ritorno superiori a 400 anni.

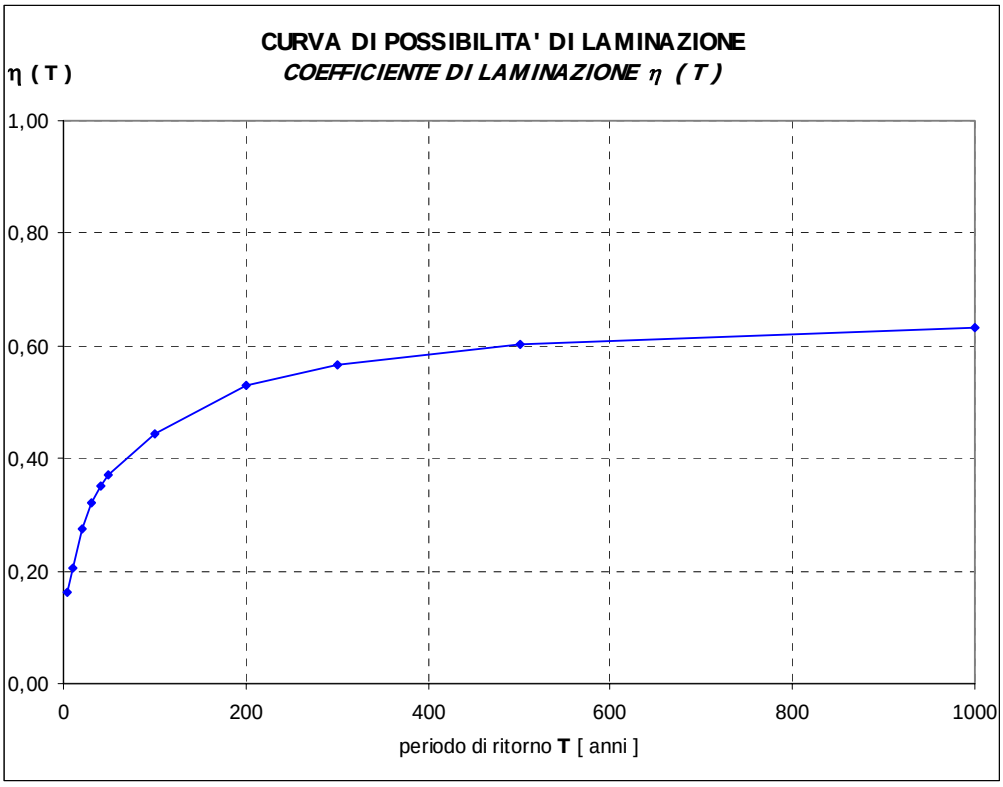


Figura 40a. Curva di possibilità di laminazione per l'invaso di Vannino. Apertura completa del 1° e del 2° scarico di superficie.

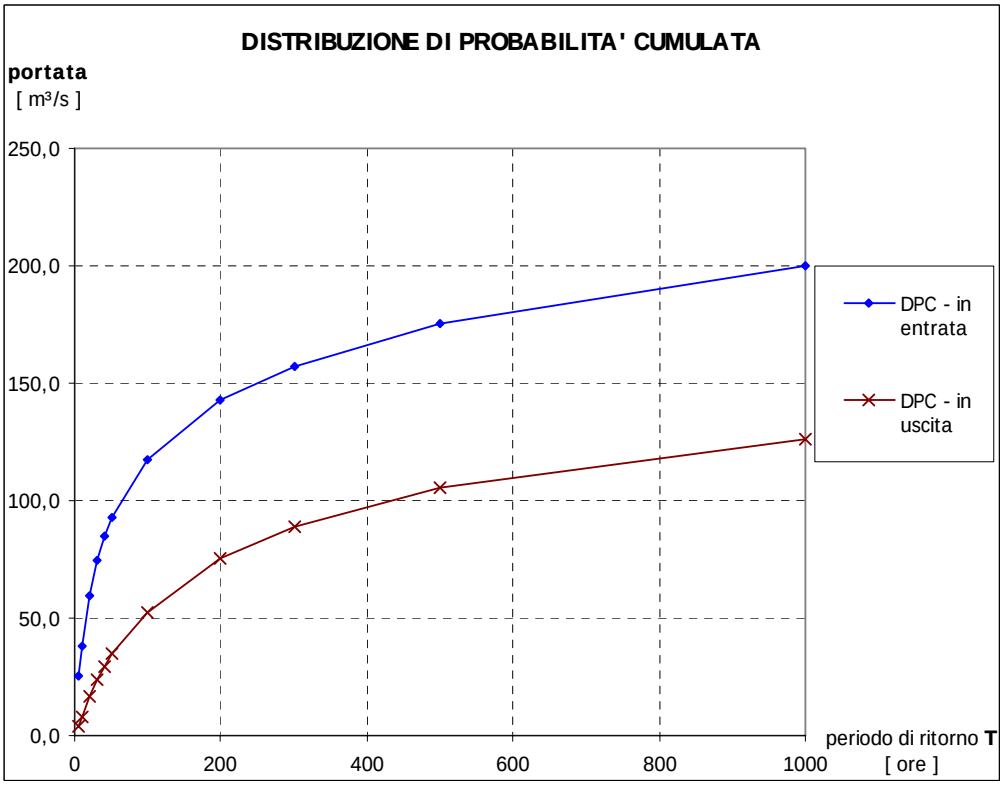


Figura 40b. Distribuzione di probabilità cumulata per l'invaso di Vannino, nel caso di deflusso naturale e con la presenza dell'invaso. Apertura completa del 1° e del 2° scarico di superficie.

4.9 RISULTATI FINALI.

Alla luce dei risultati ottenuti per ogni singolo invaso, commentati nel paragrafo 4.8, nel seguito sono richiamati in brevi tabelle gli effettivi coefficienti di laminazione ottenuti per tutti gli invasi oggetto di studio. Tali valori saranno utilizzati successivamente nel capitolo 5 al fine di determinare la variazione del coefficiente di laminazione a valle degli invasi, con il preciso scopo di definire quali invasi potranno essere oggetto di ulteriori analisi, in quanto determinanti per una effettiva riduzione dei colmi di piena.

Nelle tabelle successive, per brevità di esposizione, sono esposti solo alcuni dati ritenuti più rilevanti. Per maggiori dettagli, comunque, si rimanda agli "Allegato D" ed "Allegato E" in cui sono esposti i risultati ottenuti per ogni singolo invaso.

Tabella 20. Coefficienti di laminazione ottenuti per ogni singolo invaso. I valori evidenziati implicano il superamento del livello di massimo invaso.

INVASO	Configurazione	Coefficiente di laminazione η (T)						Valore Limite	
		Tempo di Ritorno T							
		10	**50**	**100**	**200**	**500**	**1000**	η (T)	T
Agaro	1°sc.sup.	0.207	0.336	0.401	0.453	0.498	0.518	0.522	1347
Agrasina	1°sc.sup.	0.966	0.972	0.974	0.976	0.977	0.978	0.792	4
Agrasina	1°+2°sc.sup.	0.951	0.974	0.976	0.977	0.979	0.980	0.977	150
Agrasina	3°sc.sup.	0.975	0.979	0.981	0.983	0.985	0.986	0.984	444
Alpe Cavalli	1°sc.sup.	0.373	0.615	0.642	0.655	0.668	0.678	0.655	193
Alpe Cavalli	2°sc.sup.	0.377	0.619	0.645	0.659	0.672	0.681	0.683	>2000
Alpe Larecchio	1°sc.sup.	0.235	0.311	0.350	0.394	0.446	0.476	0.562	>2000
Busin Inferiore	1°sc.sup.	0.076	0.111	0.127	0.145	0.167	0.184	0.244	>2000
Campliccioli	1°sc.sup.	0.481	0.729	0.747	0.761	0.777	0.789	0.796	>2000
Camposecco	1°sc.sup.	0.450	0.689	0.707	0.719	0.732	0.744	0.715	84
Ceppo Morelli	1°sc.sup.	0.992	0.996	0.997	0.997	0.998	0.998	0.996	48
Devero	1°sc.sup.	0.214	0.349	0.412	0.459	0.499	0.516	0.551	>2000
Lago Antrona	1°sc.sup.	0.707	0.822	0.831	0.840	0.851	0.860	0.848	32
Lago Cingino	1°sc.sup.	0.490	0.721	0.736	0.748	0.762	0.772	0.754	343
Lago d'Avino	1°sc.sup.	0.221	0.357	0.421	0.466	0.499	0.513	0.517	1153
Morasco	1°sc.sup.	0.425	0.660	0.679	0.691	0.705	0.713	0.582	18
Morasco	1°sup. + 1°all.	0.159	0.326	0.519	0.653	0.707	0.719	0.553	110
Obersee	1°sc.sup.	0.148	0.263	0.310	0.351	0.390	0.409	0.402	755
Quarazza	1°sc.sup.	0.958	0.969	0.971	0.975	0.985	0.993	0.980	272
Sabbione	1°sc.sup.	0.086	0.159	0.190	0.219	0.251	0.269	0.115	18
Sabbione	1°sup. + 1°all.	0.034	0.067	0.093	0.123	0.171	0.207	0.100	120
Val Toggia	1°sc.sup.	0.134	0.193	0.226	0.260	0.300	0.327	0.365	>2000
Vannino	1°sc.sup.	0.284	0.533	0.581	0.604	0.621	0.631	0.561	68
Vannino	1° + 2° sc.sup.	0.204	0.372	0.442	0.529	0.603	0.633	0.657	>2000

La prima tabella (Tabella 20) richiama i coefficienti di laminazione ottenuti per alcuni tempi di ritorno, oltre al valore limite. Si ricorda che il valore limite del tempo di ritorno e del coefficiente di laminazione è stato ottenuto imponendo che venga raggiunta, durante l'evento di piena, la quota di massimo invaso. Nella colonna configurazione, si riporta il tipo di scarichi considerati completamente aperti durante l'evento di piena simulato. In questo caso, come già indicato, si considera il livello idrico all'interno del serbatoio alla stessa quota della soglia dello scarico aperto più inferiore.

Nella Tabella 20 sono stati evidenziati i valori per i quali si supera la quota di massimo invaso. I valori riportati in questi casi non sono realistici, in quanto si è supposto illimitata la capacità di invaso, considerando, in pratica, la quota di massimo invaso solo un vincolo geometrico, senza ripercussioni sulla sicurezza dell'invaso.

In questa fase dello studio, infatti, si vuole solo individuare gli invasi sui quali conviene intervenire, senza entrare nel merito della gestione della fase di invaso e svaso del serbatoio. Pur non essendo rispettate alcune condizioni di sicurezza (come, ad esempio, per l'invaso di Camposecco), si è deciso di considerare definitivi i risultati ottenuti, impiegando, nel capitolo 5 la configurazione, tra quelle riportate, che determina il valore più elevato per il periodo di ritorno limite. Conviene, quindi, richiamare nuovamente i singoli invasi, ponendo attenzione alle rispettive caratteristiche, come sotto indicato.

- *Agaro*: il periodo di ritorno limite superiore a 1000 anni, unito al coefficiente di laminazione inferiore a 0.6, garantisce una buona risposta.
- *Agrasina*: la configurazione, che prevede l'impiego del 3°scarico di superficie, permette di raggiungere tempi di ritorno piuttosto elevati, con ridotte capacità laminative. Sono ancora disponibili altri due scarichi di superficie.
- *Alpe Cavalli*: l'utilizzo del solo 2°scarico di superficie permette di avere un tempo di ritorno limite molto elevato (>2000 anni), con buone capacità laminative.
- *Alpe Larecchio*: il tempo di ritorno limite elevato (>2000 anni) ed il coefficiente di laminazione inferiore a 0.6, determinano ottime capacità di laminazione.
- *Busin Inferiore*: tempo di ritorno limite molto elevato e coefficiente di laminazione molto basso, inferiore addirittura a 0.25.
- *Camplicciolì*: in questo caso si ha un tempo di ritorno limite superiore ai 2000 anni, a cui, però corrisponde un coefficiente di laminazione piuttosto elevato.

- *Camposecco*: l'impiego dell'unico scarico di superficie non permette la gestione di piena con valori al colmo elevati. Dato che non sono presenti ulteriori scarichi se non quello di fondo, tale invaso dovrà essere sottoposto, in una seconda fase, ad indagini più approfondite.
- *Ceppo Morelli*: il valore limite è raggiunto per periodo di ritorno basso, richiedendo, l'impiego di scarichi regolati non di superficie. Tale invaso dovrà essere sottoposto, in una seconda fase, ad indagini più approfondite.
- *Devero*: ottime capacità laminative, riscontrabili in un tempo di ritorno limite elevato associato a coefficienti di laminazione bassi.
- *Lago Antrona*: dato che il lago è di tipo naturale, i valori limite sono puramente indicativi. Tali valori, quindi, possono essere ampiamente superati.
- *Lago Cingino*: la capacità laminativa è discreta. Il valore del tempo di ritorno non molto elevato, implicherebbe, comunque, l'impiego di un altro scarico durante eventi di piena particolarmente intensi.
- *Lago d'Avino*: ottime capacità laminative, riscontrabili in un tempo di ritorno limite elevato associato a coefficienti di laminazione bassi.
- *Morasco*: anche l'impiego dello scarico di alleggerimento non porta a significativi miglioramenti. I ridotti valori del coefficiente di laminazione, però, lasciano supporre che, da una più attenta gestione di tale invaso si possano ottenere ottime capacità laminative.
- *Obersee*: valori al limite più che accettabili, determinano una buona capacità laminativa dell'impianto.
- *Quarazza*: i coefficienti di laminazione elevati, unitamente al ridotto valore del tempo di ritorno limite, implicano uno scarso effetto nei confronti della laminazione.
- *Sabbione*: anche l'impiego dello scarico di alleggerimento non porta a significativi miglioramenti. I ridotti valori del coefficiente di laminazione, però, lasciano supporre che, da una più attenta gestione di tale invaso si possano ottenere ottime capacità laminative.
- *Val Toggia*: gli ottimi valori al limite garantiscono un elevato effetto benefico nei confronti della laminazione delle piene.

- *Vannino*: utilizzando congiuntamente i due scarichi di superficie, si ottengono buoni valori per la condizione limite.

4.10 ALTRI PARAMETRI DI CONFRONTO

Pur non essendo strettamente necessario per la valutazione degli effetti di laminazione dei singoli invasi, si è comunque scelto di fornire nelle tabelle riportate nell'Allegato D anche altri valori adimensionali che permettono, in fasi più approfondite dell'analisi, di effettuare confronti tra invasi con caratteristiche idrauliche diverse.

Innanzitutto, si fornisce il grafico riportante la variazione del livello idrico massimo raggiunto durante l'evento di piena simulato al variare del periodo di ritorno T. Tale livello viene misurato a partire dalla quota soglia dello scarico di superficie utilizzato per il deflusso, come riportato nell'esempio di Figura 41.

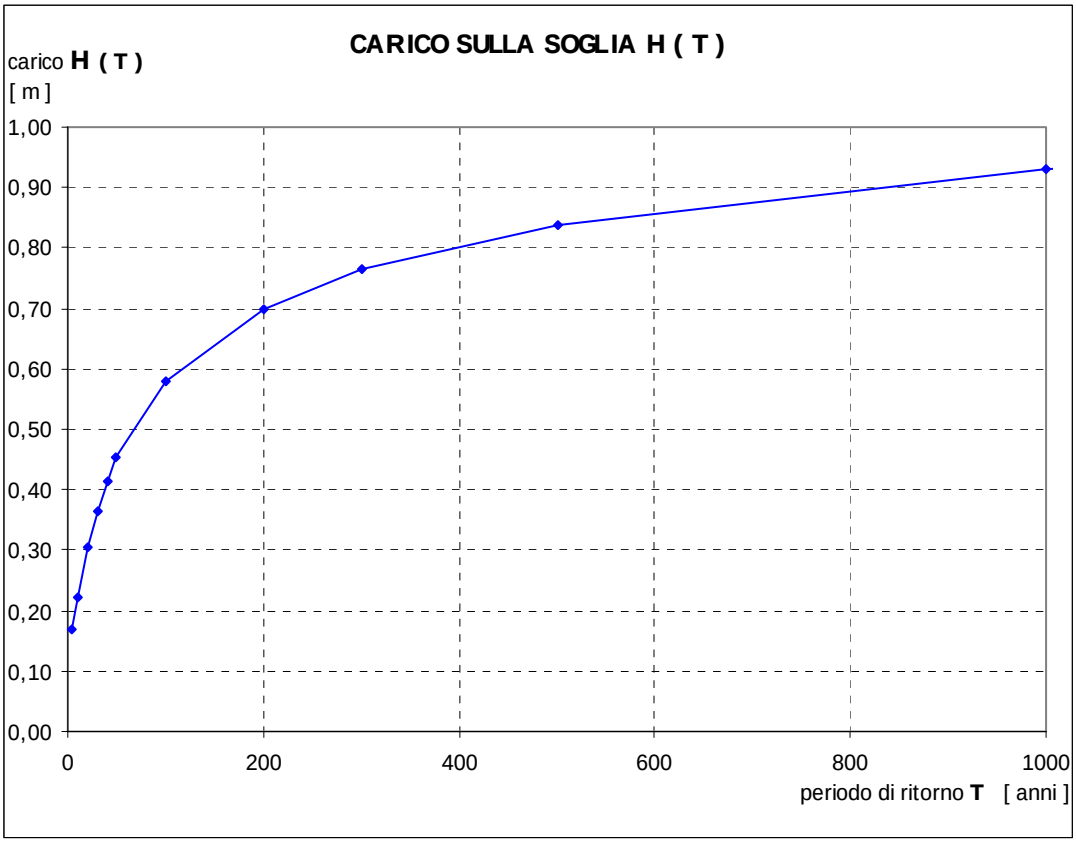


Figura 41. Esempio di variazione del carico H(T) massimo raggiunto sulla soglia al variare del periodo di ritorno T.

Un secondo grafico (Figura 42) rappresenta la variazione del carico adimensionale

$$h(T) = \frac{H(T)}{H_{\max}} \tag{43}$$

dato dal rapporto tra il carico massimo ottenuto per un certo periodo di ritorno *H(T)* ed il carico massimo ammissibile sulla soglia H_{max} (valore corrispondente al massimo invaso), al variare del coefficiente di laminazione $\eta(T)$. In questo caso, il superamento del valore 1 determina anche il superamento del livello di massimo invaso.

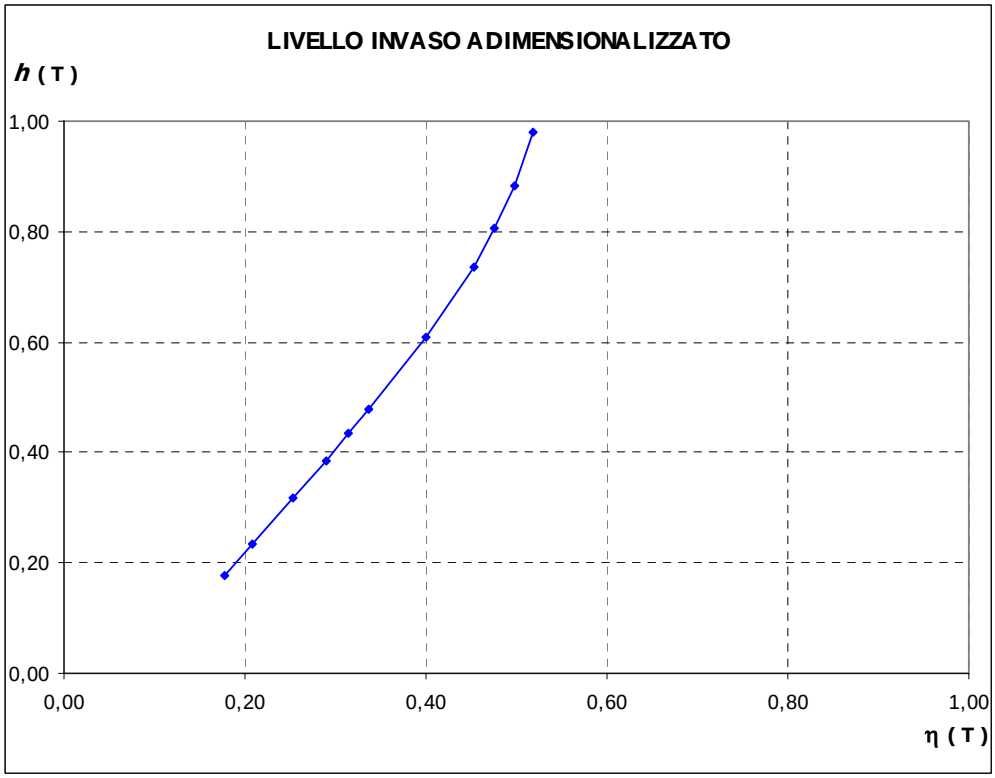


Figura 42. Relazione tra il coefficiente di laminazione ed il livello di invaso adimensionalizzato.

Il terzo grafico (Figura 43) proposto visualizza la relazione tra il periodo di ritorno ed il volume adimensionale di laminazione

$$w(T) = \frac{V_{inv}(T)}{V_{piena}(T)} \tag{44}$$

dato dal rapporto tra il volume invasato nel serbatoio V_{inv} ed il volume di piena V_{piena}, entrambi valutati per lo stesso periodo di ritorno T.

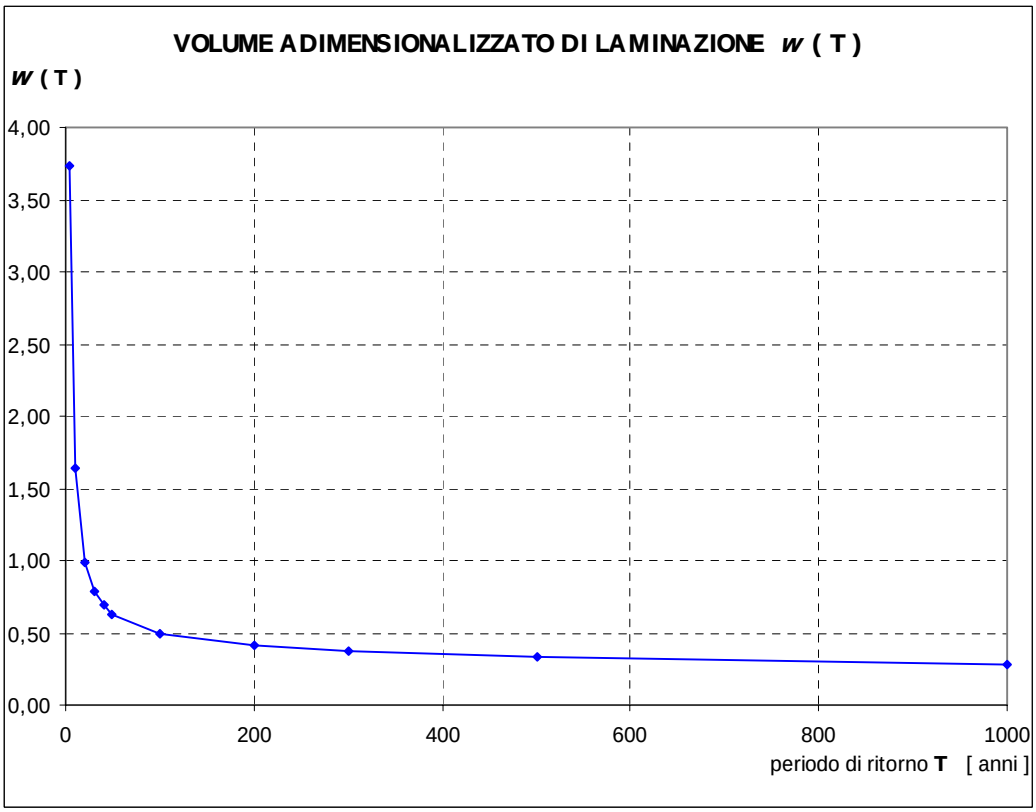


Figura 43. Esempio di relazione tra il volume adimensionalizzato w(T) ed il periodo di ritorno T.

Il volume invasato è di facile determinazione, essendo individuabile come l'integrale della differenza tra la portata in ingresso al serbatoio e quella in uscita fino al valore al colmo della portata in uscita.

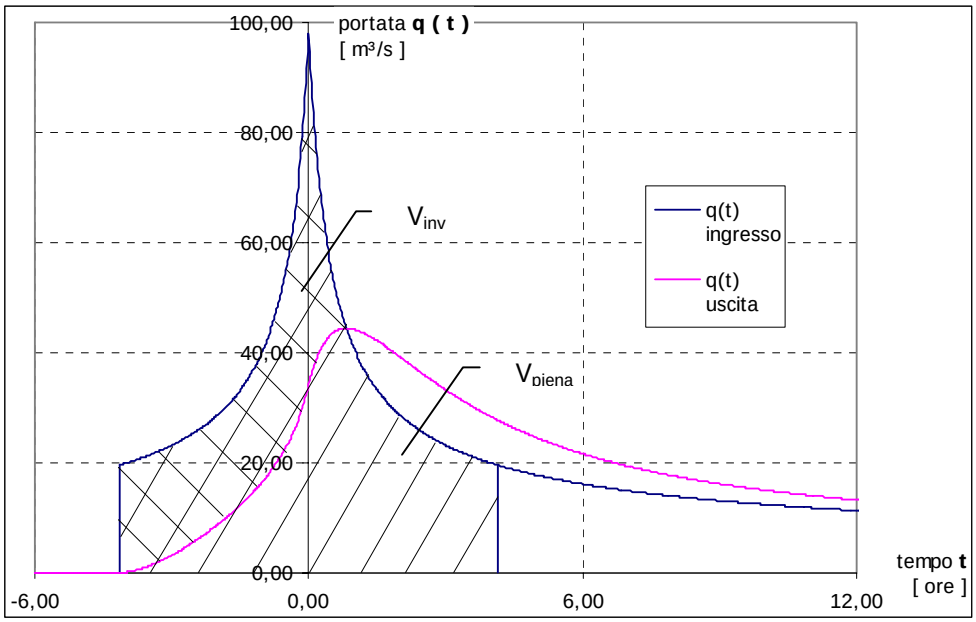


Figura 44. Identificazione del volume di piena V_{piena} e del volume invasato V_{inv}.

Per il volume di piena, invece, si è deciso di effettuare il calcolo identificandolo nell'integrale delle portate in entrata al serbatoio tra l'istante temporale in cui si verifica la portata indice nella fase crescente dell'idrogramma (istante in cui si è deciso di iniziare la laminazione) e l'istante temporale in cui si verifica di nuovo la portata indice nella fase decrescente dell'idrogramma (vedi Figura 44). Questa procedura è necessaria in quanto permette di ottenere un volume di piena che non dipende dal tipo di risposta del serbatoio, ma che, al contrario, è univoco una volta individuate le caratteristiche idrologiche del bacino idrografico in esame. Dato che, nelle ipotesi iniziali, si è supposto che gli scarichi di superficie entrino in funzione solo quando le portate superano la portata indice, ci si dovrebbe aspettare che, raggiunti valori di portata inferiori al valore indice, si possa ritenere concluso il fenomeno di piena. Da ciò discende il fatto di considerare solo il volume indicato come volume di piena. Risultano così giustificati alcuni casi in cui il rapporto espresso in (44) risulta essere maggiore di 1.

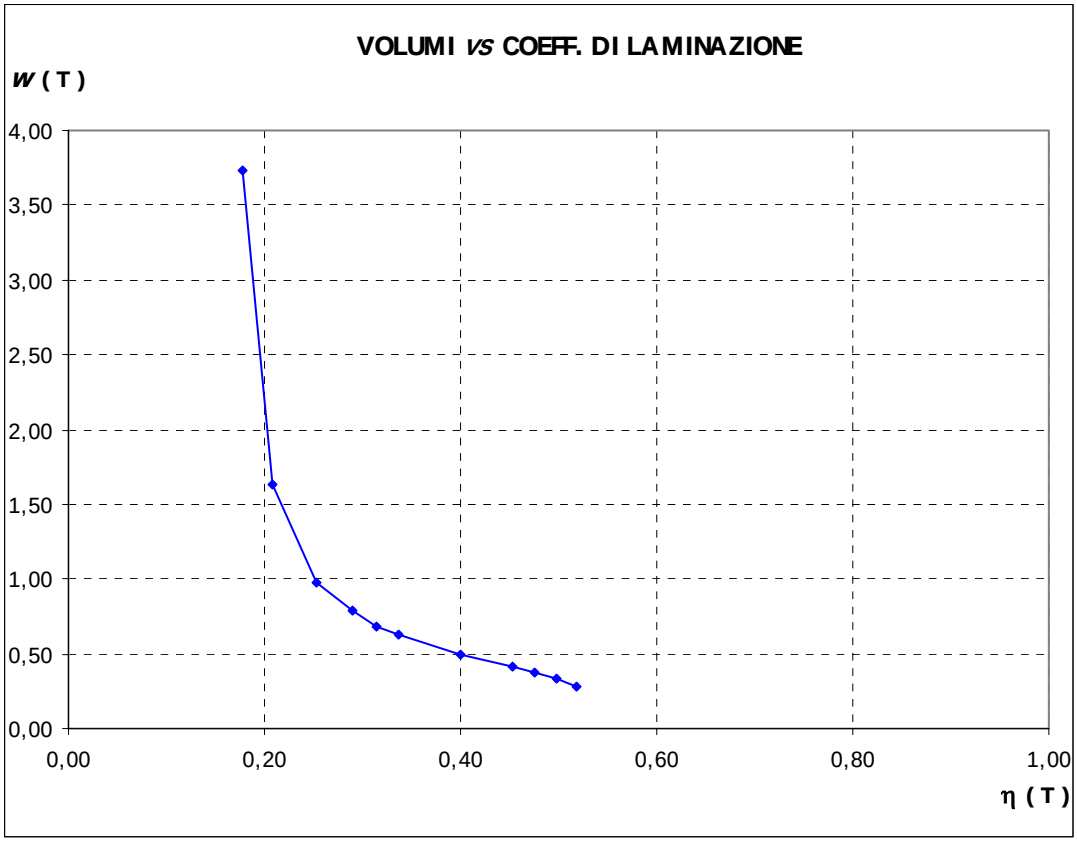


Figura 45. Esempio di relazione tra il volume adimensionale w(T) ed il coefficiente di laminazione.

L’ultimo grafico proposto (Figura 45), fornisce il legame tra il volume adimensionale calcolato con la (44) ed il rispettivo coefficiente di laminazione. Questo tipo di rappresentazione permette un più diretto confronto tra serbatoi differenti, in quanto può essere utilizzato in una fase di verifica delle capacità laminative, almeno in termini di accumulo di volumi negli invasi.

5 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI LAMINAZIONE A DISTANZE CRESCENTI DAGLI INVASI.

Nel capitolo precedente è stato valutato per ogni invaso il coefficiente di laminazione al variare del periodo di ritorno, ossia il grado di abbattimento del valore al colmo di un'onda di piena per effetto dell'invaso temporaneo di volumi idrici nel serbatoio. I valori trovati, quindi, hanno validità solo in corrispondenza dell'invaso o per brevi tratti a valle dello stesso. Allontanandosi dall'invaso, infatti, si ha che gli eventuali apporti laterali alle aste fluviali, dovuti ai bacini adduttori presenti tra la posizione dell'invaso generico e la sezione fluviale in cui si vuole valutare l'effetto prodotto dall'invaso stesso, possono anche annullare i buoni risultati ottenuti in prossimità dello sbarramento.

Risulta, a questo punto, necessario calcolare come effettivamente le portate naturali si riducono a causa della presenza degli invasi più a monte.

Dopo una breve illustrazione della metodologia utilizzata per stimare il coefficiente di laminazione lungo le aste fluviali, si procedere all'esposizione dei risultati ottenuti, i quali hanno permesso di realizzare la "Tavola 6" nella quale si ha la visione di insieme di tutto il bacino del Toce.

5.1 METODOLOGIA DI CALCOLO.

Individuata una generica sezione di chiusura in un corso d'acqua, questa sottende una certa area del bacino complessivo che può essere definita come area di capienza $A_{cap.}$. Se nell'area di capienza appena delimitata, è presente un invaso, si ha che esso rappresenta una discontinuità nella risposta idrologica del bacino idrografico alla sezione di chiusura scelta.

La presenza dell'invaso, infatti, obbliga, virtualmente, a dividere in due parti il bacino complessivo. Una parte sarà costituita dalla zona posta a monte dell'invaso, che sarà identificata come area del bacino idrografico $A_{Bac.}$, intendendo con questo termine l'area del bacino idrografico che insiste sull'invaso. Una seconda parte è data dalla differenza tra l'area di capienza e l'area del bacino idrografico appena indicata, che costituisce l'area aggiuntiva $A_{agg.}$ che determina l'idrogramma in arrivo alla sezione di chiusura in esame.

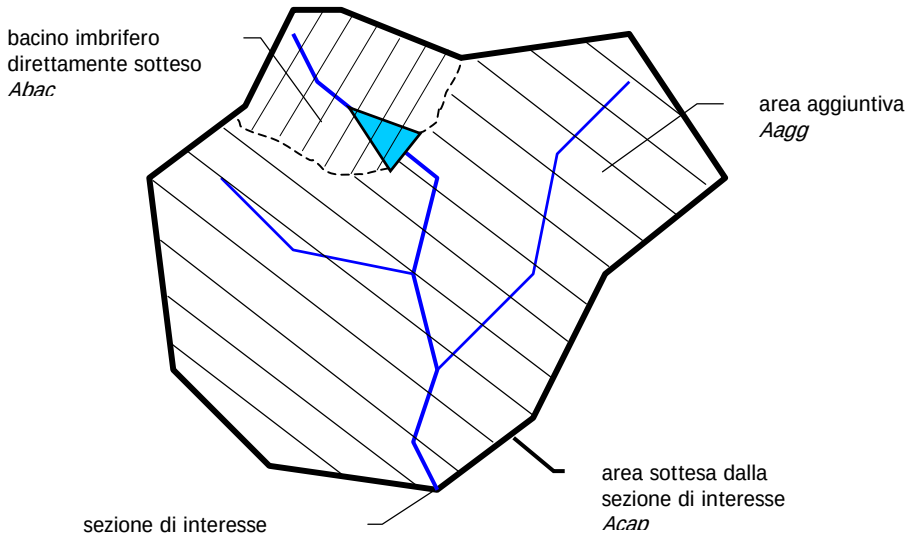


Figura 46. Indicazione delle aree individuate in ogni bacino, necessarie al calcolo del coefficiente di laminazione a valle dei serbatoi.

Senza entrare nel merito dei meccanismi di formazione delle onde di piena e della loro propagazione a valle di un invaso, si propone un metodo molto semplificato per il calcolo degli effetti determinati dalla presenza di un invaso.

Come proposto da diversi autori (Marzolo, 1933; Di Natale et al., 2001), l'onda di piena in arrivo in una generica sezione fluviale può essere vista come somma delle onde generate in sezioni fluviali poste più a monte opportunamente traslate. Se ora si considera la presenza di un invaso che sottende l'area $A_{Bac.}$ prima indicata, e tale per cui l'effetto di laminazione da lui esercitato determina una netta differenza tra l'idrogramma in ingresso all'invaso rispetto a quello in uscita (vedi Figura 46), si ha che l'idrogramma alla sezione di chiusura $q_{cap,lam}(t)$ tenendo conto dell'effetto dell'invaso, sarà dato dall'idrogramma originario $q_{cap}(t)$, valutato sull'area di capienza senza considerare l'eventuale presenza dell'invaso, a cui viene sottratto l'idrogramma in entrata al serbatoio $q_{e,inv}(t-\delta)$ e a cui si aggiunge l'idrogramma in uscita $q_{u,inv}(t-\delta)$. Questi ultimi, però, devono essere calcolati tenendo presente che gli effetti che si percepiscono nella sezione di chiusura al tempo t in realtà sono dovuti alle onde che sono transitate nell'invaso ad un tempo $t-\delta$, in cui δ indica il tempo necessario affinché l'onda di piena raggiunga la sezione di chiusura in esame. In tale analisi, quindi, si trascura l'effetto dovuto alla laminazione offerta dalle aste fluviali, che tendono a ridurre ulteriormente i valori al colmo delle onde.

5.1.1 COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE LE ASTE A VALLE DEGLI INVASI

Dato che lo studio condotto in questa fase è solo di tipo qualitativo e dato che, in base alle ipotesi fatte, il metodo di calcolo è consistente dal punto di vista dei valori al colmo degli idrogrammi, più che dal punto di vista della forma, è opportuno spostare l'analisi dalla somma delle onde alla somma dei valori al colmo.

In questo caso, quindi, il coefficiente di laminazione η_{cap} valutato nella sezione di chiusura per effetto degli invasi sarà dato dal rapporto tra il valore al colmo dell'onda di piena valutato senza la presenza degli invasi Q_{cap} ed il valore al colmo determinato dalla presenza degli sbarramenti $Q_{cap,lam}$:

$$\eta_{cap} = \frac{Q_{cap,lam}}{Q_{cap}} \tag{45}$$

in cui il numeratore è ottenuto in base alla

$$Q_{cap,lam} = Q_{cap} - \sum Q_{e,inv} + \sum Q_{u,inv} \tag{46}$$

Nella (46) compare la sommatoria di tutte le onde in ingresso ai singoli invasi $Q_{e,inv}$ e la sommatoria di tutte le onde in uscita dagli invasi stessi in seguito alla laminazione $Q_{u,inv}$. In pratica si è considerata la generica onda di piena in una predeterminata sezione come la somma parziale delle onde ricavate nelle varie parti in cui si può suddividere il bacino complessivo. In questo caso, dato che la somma parziale delle portate ottenute per ogni sottobacino di cui si compone il bacino principale risulta sempre maggiore rispetto alla portata calcolata per il bacino complessivo considerato nel suo insieme, si è proceduto anche ad una taratura dei valori delle portate all'invaso, imponendo che la somma dei valori al colmo degli idrogrammi agli invasi e quelle dovute agli apporti laterali, diano come risultato il valore al colmo ottenuto considerando tutta l'area di capienza individuata.

Per meglio chiarire la procedura, si consideri il seguente esempio: un bacino di area *Atot*, può essere suddiviso in due sotto bacini. Il primo, di area *A1*, non presenta al suo interno opere di accumulo, mentre il secondo, di area *A2*, contiene al suo interno un invaso (Figura 47). Tale invaso, determina un abbattimento dell'onda di piena in ingresso che è espresso tramite il coefficiente di laminazione η_{inv}.

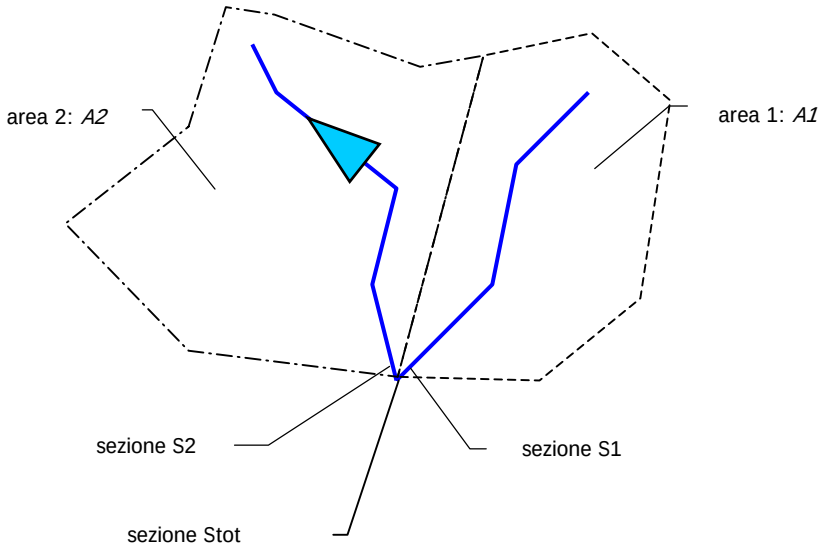


Figura 47. Esempio di suddivisione di un bacino per il calcolo del coefficiente di laminazione a valle di un invaso.

Si indichi ora con *Qinv* la portata al colmo valutata in corrispondenza dell'invaso, con *Q2* la portata al colmo in corrispondenza della sezione *S2*, con *Q1* la portata del sotto-bacino 1 valutata in corrispondenza della sezione *S1* e con *Qtot* la portata valutata per tutto il bacino individuato dalla sezione *Stot*. Alla sezione *S2*, il nuovo coefficiente di laminazione sarà dato da:

$$\eta_{S2} = \frac{Q2 - Qinv + \eta_{inv} \cdot Qinv}{Q2} \tag{47}$$

Per la sezione di chiusura *Stot*, che sottende tutto il bacino, si calcola per prima cosa un coefficiente di riduzione per le portate, imponendo che la somma delle portate al colmo dei singoli sotto-bacini sia pari alla somma della portata calcolata per il bacino complessivo:

$$x = \frac{Q1 + Q2}{Qtot} \tag{48}$$

Successivamente si calcola l'effettivo valore considerato per il coefficiente di laminazione:

$$\eta_{Stot} = \frac{\eta_{S2} \cdot Q2 + Q1}{x \cdot Qtot} \tag{49}$$

Nello specifico si è scelto di operare considerando i valori al colmo in ingresso ed in uscita dai serbatoi ed, in generale, in ogni altra sezione, ottenuti per un tempo di ritorno di 200

anni. Anche in questo caso, si procede effettuando il calcolo in alcune sezioni ritenute rappresentative per il bacino del Toce, le quali, però, corrispondono a quelle individuate anche per l'indice FARL.

Nell'Allegato E si trovano le schede relative al calcolo effettuato, nelle quali, oltre al coefficiente di laminazione, sono riepilogate anche le principali caratteristiche necessarie al calcolo del valore al colmo delle portate per il tempo di ritorno prestabilito. La Tavola 6 annessa, rappresenta sulla cartografia i valori trovati. In essa si sono indicate, in corrispondenza delle sezioni di chiusura individuate i rispettivi valori del coefficiente di laminazione. Le aste fluviali a valle degli invasi, invece, sono state colorate con tonalità differenti al fine di evidenziare le variazioni subite dal coefficiente di laminazione allontanandosi dall'invaso stesso.

Come ultima nota, si ricorda che, analogamente a quanto effettuato per il calcolo del coefficiente di laminazione in corrispondenza degli invasi, si è scelto, nel caso di configurazione in serie degli invasi, di non considerare l'ulteriore riduzione dei valori al colmo dovuti alla laminazione degli invasi posti a più a monte. Si è scelto, quindi, di operare a favore di sicurezza ipotizzando che gli invasi più a monte siano "trasparenti" nei confronti di un'eventuale evento di piena.

Tra due invasi in serie, si riporta comunque il valore del coefficiente di laminazione che si ottiene dalla presenza dell'invaso a monte fino al successivo invaso.

6 DEFINIZIONE DELLE AREE TARGET.

La definizione delle “aree Target”, è effettuata stabilendo quali zone del bacino del Toce possano beneficiare di una riduzione del rischio di alluvione, attraverso una opportuna gestione della fase di invaso e svaso dei serbatoi artificiali presenti nel bacino.

Per l’identificazione di tali aree, in base allo studio effettuato, si hanno a disposizione due fonti di dati. La prima, deriva dalla individuazione delle aree storicamente vulnerate, effettuata al Capitolo 2 e riassunta nella Tavola 3. Tramite questa carta sono state segnalate le zone in cui i passati eventi alluvionali hanno generato maggiori danni. La seconda fonte è data dalla valutazione quantitativa dell’effetto di laminazione a valle degli invasi, visualizzato graficamente nella Tavola 6 attraverso il coefficiente di laminazione. Sovrapponendo le due carte, si può individuare ragionevolmente la zona nella quale i benefici possano risultare effettivamente tangibili. Va aggiunto che la valutazione probabilistica del rischio di piena è stata comunque effettuata per poter pervenire al calcolo dei coefficienti di laminazione.

Inoltre, per sottoporre a controllo i risultati ottenuti attraverso il calcolo dell’effetto di laminazione (e per meglio mettere in evidenza le specificità derivanti dalle caratteristiche degli organi di scarico), si sono calcolati indici di laminazione empirici.

6.1 ALTO TOCE.

L’alto corso del Toce, con sezione di chiusura a Verampio, non è soggetto a problemi di rilievo. La presenza di un elevato numero di laghi di notevoli dimensioni, se rapportati all’area sottesa, determina un coefficiente di laminazione, lungo le aste fluviali, inferiore a 0.80. Procedendo verso valle, si nota come le zone segnalate in Tavola 3 risultino principalmente vulnerabili per problemi derivanti da manovra di opere di scarico. Il primo sito segnalato per eventi calamitosi è la località di San Rocco, sul fiume Toce, in cui peraltro il coefficiente di laminazione è prossimo a 0.75. Un altro sito colpito da precedenti eventi calamitosi è in corrispondenza di Baceno, sul torrente Devero, dove si ritrova un indice di laminazione, dato dagli invasi di Devero e Agaro, prossimo a 0.74.

Nella parte alta del bacino si nota che gli invasi utilizzabili per la laminazione sono Sabbione, Morasco, Val Toggia e Vannino. L’invaso di Busin Inferiore non è pienamente sfruttabile, in quanto, data la sua posizione rispetto ai territori a valle (bacino direttamente sotteso di piccolissime dimensioni, lontananza dall’asta principale), già alla confluenza tra il

suo emissario ed il fiume Toce, presenta un coefficiente di laminazione pari a 0.82, superiore al valore di 0.73 ottenuto, nella stessa sezione, dagli invasi prima citati. Dato che la laminazione operata dall'invaso di Busin Inferiore è ottenuta impiegando una soglia libera, senza intervento di alcun tipo, si può desumere che esso non necessiti di ulteriori studi. Considerando, inoltre, il fatto che il bacino da questo sotteso è molto ridotto, una qualsiasi gestione della fase di piena non comporterebbe significativi vantaggi.

Ampiamente sfruttabili sono anche i due invasi sul torrente Devero, in quanto una diversa gestione degli stessi potrebbe permettere di abbassare ulteriormente il coefficiente di laminazione, attualmente pari a 0.796, per proteggere l'abitato di Baceno.

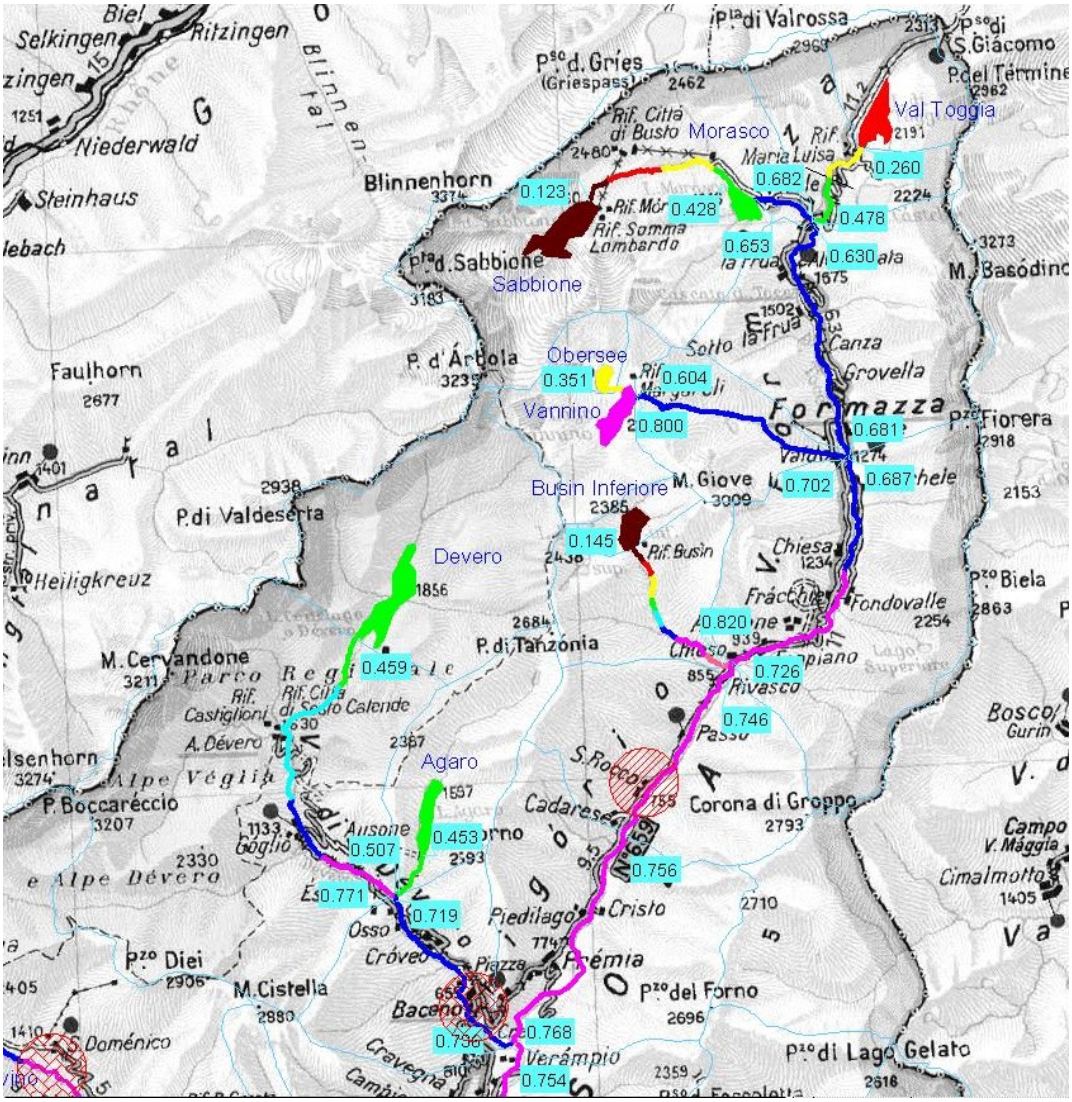


Figura 48. Confronto tra il coeff. di laminazione e le aree storicamente vulnerate per l'alto corso del Toce, sezione di chiusura a Verampio.

6.2 ASTA DEL TOCE FINO A VILLADOSSOLA.

Muovendo sempre verso valle, si analizza la parte del bacino del Toce ricadente tra la sezione di chiusura di Verampio e quella di Villadossola, riportata nella Figura 49.

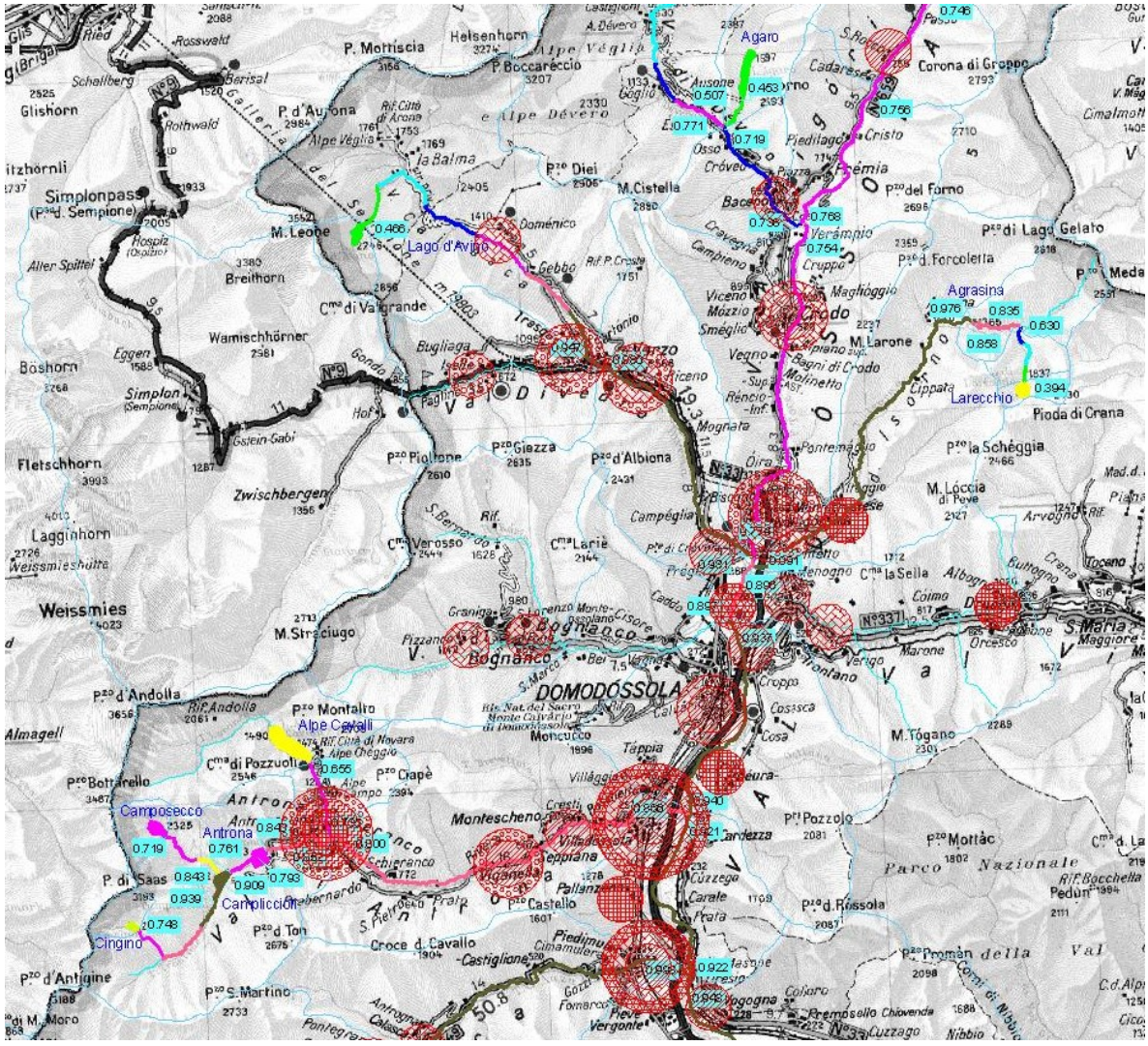


Figura 49. Confronto tra il coeff. di laminazione e le aree storicamente vulnerate: bacino del Toce compreso tra le sezioni di chiusura di Verampio e Villaomodossola.

Come si può notare, in questa zona comincia ad essere più elevato il numero di eventi alluvionali storici. Dopo Verampio, si incontrano subito i siti segnalati di Crodo e Montecrestese, in cui, però, si può prevedere un possibile intervento tramite i serbatoi posti nell'alto corso del Toce, precedentemente indicati. Procedendo oltre, nel breve tratto tra Montecrestese e Domodossola, si ha la confluenza con il Toce di quattro valli laterali di notevoli dimensioni (relative ai torrenti Diveria, Isorno, Bogna, Melezzo) di cui solo due dotate di invasi. Le dighe di Agrasina e Alpe Larecchio, sul torrente Isorno, e la diga di Lago

d'Avino, sul torrente Cairasca (affluente del Diveria), sottendono bacini di dimensioni esigue, se confrontati anche solo con i due rispettivi sotto-bacini alla confluenza con il Toce, generando un coefficiente di laminazione nei sotto-bacini prossimo ad 1. Un loro possibile intervento nel contenimento delle piene risulta, quindi, trascurabile.

Oltre l'abitato di Domodossola, si incontrano ancora delle aree a rischio, in particolare nella zona di Villadossola. In corrispondenza di questa sezione, inoltre, si ha anche la confluenza tra il Toce ed il torrente Ovesca, sulla cui valle si segnalano vari siti a rischio, in particolare in prossimità di Antrona Schieranco. In questo caso si potrebbe intervenire utilizzando anche il gruppo di invasi posti sugli affluenti del torrente Ovesca che, anche se sottendono bacini di piccole dimensioni, dato che sono in numero elevato (ben cinque invasi in una ristretta area), possono ridurre notevolmente i valori al picco delle portate.

6.3 BASSO CORSO DEL TOCE.

In Figura 49 è rappresentato il basso corso del fiume Toce, tra Villadossola e la confluenza con il Lago Maggiore. I danni maggiori avuti nel passato sono stati segnalati nella zona di Piedimulera ed in prossimità di Ornavasso.

In corrispondenza di Piedimulera, si ha la confluenza tra il Toce ed il torrente Anza, che sottende un'area molto estesa. Anche in questa valle sono segnalati più siti a rischio, purtroppo con possibilità ridotte di intervento. Gli unici invasi presenti, Quarazza e Ceppo Morelli, infatti, hanno ridottissime capacità laminative, con effetti trascurabili per i territori a valle. Ceppo Morelli, inoltre, risulta essere uno degli invasi già segnalati al capitolo 5, in quanto non soddisfa completamente i vincoli di sicurezza imposti, richiedendo una più attenta analisi della fase di gestione di un evento di piena. Visto il livello di rischio per le aree a valle, questa valutazione diventa di primaria importanza.

In questo caso, quindi, gli interventi plausibili sono da attuarsi tramite i serbatoi indicati precedentemente, ricadenti o nell'alto corso del Toce, o sul torrente Ovesca. L'elevato valore dell'indice di laminazione, però lascia supporre che, comunque, gli effetti ottenibili siano ridotti, in quanto, ormai, gli apporti laterali sono diventati preponderanti rispetto a quelli dei bacini sottesi direttamente dagli invasi.

Oltre Ornavasso si segnalano ancora alcuni siti a rischio, in particolare in corrispondenza di Gravellona. In questa posizione, però il bacino idrografico del Toce ha superato i 1780 km², vanificando ogni possibilità di intervento. Anche la presenza del lago

d'Orta, posto sul torrente Strona, non permette miglioramenti significativi. Tale lago, infatti, è naturale, con solo una regolarizzazione della soglia sfiorante verso l'emissario, tale da escludere possibilità di regolazione effettiva delle portate in uscita.

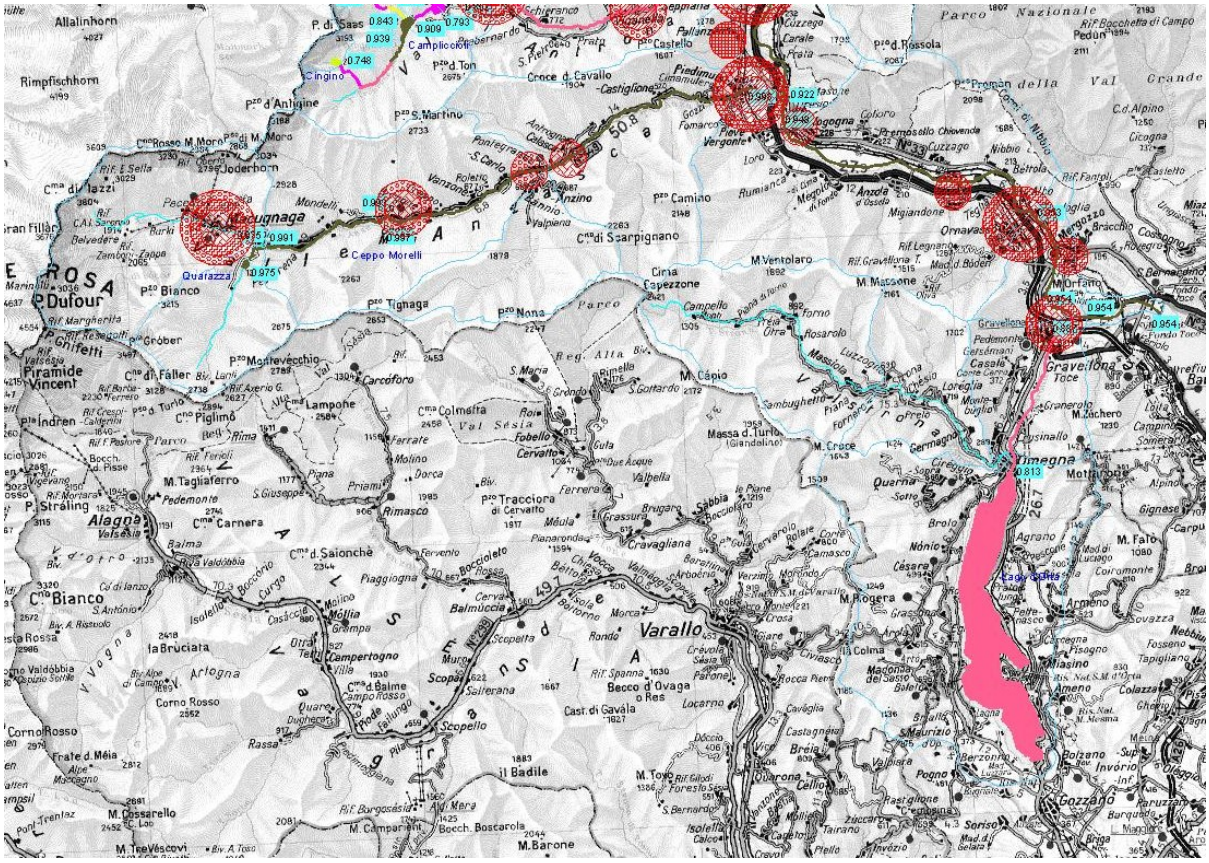


Figura 50. Confronto tra il coeff. di laminazione e le aree storicamente vulnerate: bacino del Toce compreso tra le sezioni di chiusura di Villadossola ed il lago Maggiore.

6.4 CONSIDERAZIONI FINALI.

L'analisi di dettaglio effettuata nei precedenti paragrafi permette, di identificare finalmente le aree nelle quali si prevede che una diversa gestione dei serbatoi permetta un'effettiva riduzione dei rischi da alluvione, ottenendo in totale due aree di possibile intervento. La prima è riscontrabile nella zona compresa tra Montecrestese e Piedimulera, a monte della quale sono presenti ben nove invasi. In questa zona, si ha una notevole incidenza di danni da alluvioni del passato, con valori dell'indice di laminazione e con caratteristiche degli invasi a monte tali da permettere consistenti possibilità di intervento. Una seconda "area target" è individuabile nella valle Ovesca, in cui la presenza di cinque invasi permetterebbe una notevole riduzione dei rischi da alluvione.

Nella Tavola 7 sono riportate le “aree target” individuate, ossia quelle aree in cui sono ipotizzabili benefici dalla laminazione “attiva” delle piene. Nella stessa tavola sono state evidenziate anche quelle aree già attualmente caratterizzate da significativi effetti di laminazione e che, da una diversa gestione dei serbatoi, otterranno comunque miglioramenti significativi. Nella stessa tavola sono stati indicati anche i serbatoi suscettibili di interventi attivi sulla laminazione, oltre agli invasi che, nel contesto esaminato, esercitano un trascurabile effetto di laminazione.

BIBLIOGRAFIA

Brunamonte F., *Vassallo N. Fenomeni di dissesto nel Verbano-Cusio- Ossola (VCO) – Schede processi-effetti (VCO 1a e 2a)*, CNR-IRPI, Torino, Ottobre 2000.

Brunamonte F., Vassallo N. *Fenomeni di dissesto nel Verbano-Cusio-Ossola (VCO) - Caratterizzazione degli eventi meteo-idrologici più rilevanti degli ultimi due secoli*, CNR-IRPI, Torino, Febbraio 2001.

CNR-GNDCI, *Censimento delle Aree Storicamente Vulnerate da Calamità Geologiche ed Idrauliche (*Progetto AVI), http://avi.gndci.cnr.it, 1992 – 2003.

CNR-IRPI, *Frane e Inondazioni in Italia, Sistema Informativo Sulle Catastrofi Idrogeologiche in Italia (S.I.C.I.)*, http://sici.gndci.cnr.it, http://maps.irpi.cnr.it/website/sici/sici_start.htm, 2003.

Circolare DSTN/2/22806 del 13 Dicembre 1995 *"Disposizioni attuative e integrative in materia di dighe"*.

Giacomelli, L., Bellardone, G., Susella, G., *Eventi alluvionali in Piemonte nel XX Secolo*, Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione, Sistema Informativo Prevenzione Rischi, http://www.arpa.piemonte.it/statoambiente/dpsir/nuovi/Eventi_naturali/evnat1.htm, CSI Piemonte.

Di Natale, M., Golia, U., M., Greco, R., *Sul dimensionamento di massima di un sistema di vasche di laminazione per il controllo delle piene in una rete di drenaggio*, in: Fioretto, V., Caroni, E., (a cura di), La difesa idraulica del territorio, Università di Trieste, 2001.

MAPPAVI – Supporto informatico per la consultazione dei dati raccolti dal progetto AVI, Software prodotto per il CNR-GNDCI, 1998

Marone, V., *Calcolo di massima dell'effetto di laminazione di un serbatoio sulle piene*, L'Energia Elettrica, n.10, pp.693-698, 1971.

Marone, V., *Calcolo di massima di un serbatoio di laminazione*, L'Energia Elettrica, n.9, pp.561-567, 1971.

Marzolo, F., I serbatoi di piena, L'Energia Elettrica, pp. 269-284, aprile 1933.

Pianese, D. e Rossi, F., *Curve di possibilità di laminazione delle piene*, Giornale del Genio Civile, 4, 5, 6, pp.131-148, 1986.

Piga, E., Saba, A., Salis, F., Sechi, G., M., *Distribuzione probabilistica delle portate massime annue laminate da un invaso con sfioratore superficiale*, in: XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, vol.3, pp.85-92, Genova, 12-15 settembre 2000.

Regione Piemonte, *Progetto Interreg IIC, Gestione del Territorio e prevenzione delle inondazioni*, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento per i Servizi Tecnici Regionali, 2002.

Regione Piemonte, *Rapporto sull'evento alluvionale del 13-16 Ottobre 2000*, Rapporti d'Evento della Regione Piemonte, Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione, parte II, 23 Ottobre 2000.

Scarrott, R.M.J., Reed, D.W., Bayliss, A.C., Indexing the attenuation effect attributable to reservoirs and lakes, in: Robson, A. & Reed, D., Statistical procedures for flood frequency estimation, Flood Estimation Handbook, vol.5, pp. 19-26.

Supino, G., Il metodo del volume di invaso e la moderazione delle piene nelle reti idrografiche – Osservazioni generali – Calcolo dei serbatoi, Giornale del Genio Civile, n.10, 1967.

Villani, P., Valutazione preliminare dei volumi di piena naturali defluenti alla sezione terminale di uno dei bacini idrografici interessati dall'evento gravitativi del 5-6 maggio 1998,

ALLEGATO A

TABELLA DI SINTESI
DEI MAGGIORI EVENTI
ALLUVIONALI

Eventi	Entrata in servizio Invasi (banda verde)																			Rapporti d'evento			
	Agaro ('40)	*Agrasina ('54)*	*Alpe Cavalli ('26)*	*Alpe Larecchio ('40)*	*Busin Inferiore ('26)*	*Campliccioli ('29)*	*Camposecco ('32)*	*Ceppo Morelli ('32)*	*Devero ('39)*	*Lago Antrona*	*Lago Castel*	*Lago Cingino ('32)*	*Lago d'Avino ('29)*	*Morasco ('40)*	*Obersee*	*Quarazza ('54)*	*Sabbione ('55)*	*Val Toggia ('33)*	*Vannino ('29)*	**PAI** Q_{MAX} **a Candoglia**	***Q_{MAX} segnalata sul Toce dalle fonti***	***Indice di gravità***	***Fonti***
ottobre 1755																				n.d.	n.d.	0,78	Interreg II C, Rapporti VCO
ottobre 1839																				n.d.	n.d.	0,44	Interreg II C, Rapporti VCO
ottobre 1868																				n.d.	n.d.	0,22	Interreg II C
4 ottobre 1924																				n.d.	n.d.	/	/
15 maggio 1926																				n.d.	n.d.	/	/
24 luglio 1930																				n.d.	n.d.	/	/
29 novembre 1930																				n.d.	n.d.	/	/
3 maggio 1931																				n.d.	n.d.	/	/
3 agosto 1934																				**1040**	**2100**	/	PAI
25 agosto 1935																				**1080**	n.d.	/	Interreg II C, PAI
6 agosto 1939																				**1900**	n.d.	/	PAI
4 marzo 1946																				**872**	n.d.	/	PAI
26 settembre 1947																				**1730**	n.d.	/	PAI
2 settembre 1948																				**1930**	n.d.	/	PAI
11 novembre 1951																				**1410**	**1410**	0,11	Interreg II C, VCO, PAI
23 marzo 1956																				**1310**	n.d.	/	PAI
25 settembre 1956																				**1310**	n.d.	/	PAI
16 giugno 1957																				**843**	n.d.	/	PAI
18 maggio 1960																				**1620**	n.d.	/	PAI
16 settembre 1960																				**1620**	n.d.	/	PAI
13 settembre 1961																				**749**	n.d.	/	PAI
8 novembre 1962																				**827**	n.d.	/	PAI
8 aprile 1963																				**900**	n.d.	/	PAI
2 novembre 1968																				n.d.	**2030**	1,00	Interreg II C, Rapporti VCO
7 ottobre 1977																				n.d.	n.d.	/	Interreg II C
7 agosto 1978																				n.d.	**2137**	0,44	Interreg II C, Rapporti VCO
24 settembre 1993																				n.d.	n.d.	0,33	Interreg II C, AVI-GNDCI, VCO
25 ottobre 1993																				n.d.	n.d.	0,56	Interreg II C, AVI-GNDCI, VCO
13 ottobre 2000																				n.d.	n.d.	0,56	Rapporti d'evento Reg. Piem. (.pdf),

Eventi	Sintesi dei Rapporti di Evento *Aree interessate dall'evento*
ottobre 1755	**TOCE** (colpiti i centri di Crodo e S.Rocco, comune di Trontano, nel fondovalle dell'Ossola), le piene associate di **TOCE**, **T. Melezzo Occ.** e **Isorno** provocano gravissimi danni in località Masera e Trontano (Viene devastata l'intera pianura), **T.Isorno e T. Bogna** (allagata la piana di Domodossola) , **T.Anza** (Valle Anzasca, colpito il centro di Piedimulera e Vogogna), **T. Diveria** (Val Divedro, distrutto il ponte di Crevola), **T. Ovesca** (fortemente colpiti i comuni di Viganella e Villadossola). *Vittime umane*
ottobre 1839	**TOCE** (Danni al centro di Ornavasso), **TOCE, T. Diveria, T. Bogna** (Fortemente colpito il comune di Domodossola), **T. Ovesca** (Gravemente danneggiata la strada Montescheno-Seppiana, colpiti i relativi centri abitati ed il comune di Villadossola). *Vittime umane*
ottobre 1868	Interessato l'intero bacino del **TOCE** e del **T.Anza** con cospicuo trasporto di detriti fini e grossolani. Alluvionati i terreni coltivati del fondo valle. *Vittime umane*
4 ottobre 1924	
15 maggio 1926	
24 luglio 1930	
29 novembre 1930	
3 maggio 1931	
3 agosto 1934	
25 agosto 1935	
6 agosto 1939	
4 marzo 1946	
26 settembre 1947	
2 settembre 1948	
11 novembre 1951	**TOCE** (Distruzione di alcune case a Crevoladossola). Segnalata portata massima registrata nel periodo 1933-50: 1930 m^3/s. *Vittime umane*
23 marzo 1956	
25 settembre 1956	
16 giugno 1957	
18 maggio 1960	
16 settembre 1960	
13 settembre 1961	
8 novembre 1962	
8 aprile 1963	
2 novembre 1968	**TOCE** (Alluvioni nel comune di Crodo, danni in località Crevoladossola, inondazioni e frane diffuse nel territorio di Massiola, comune di Ornavasso), **T.Devero** (Interruzione strada in località Crino, Comune di Baceano), **T.Bogna** (Interruzione della strada a Pizzanco, distrutto acquedotto e infrastrutture in località Bacinsco, comune di Bognanco, frane diffuse), **T.Melezzo Occ.** (Attravesamento del torrente a Prestinone)., **T.Isorno** (frane ed alluvioni in sponda sinistra, località Zornasco, comune di Malesco), **T.Diveria** (Gravi danni alla sede stradale tra Bugliacae Trasquera, in egual misura a strade ed edifici nel comune di Varzo), **T. Cairasca (Diveria)** (Danni alla frazione S. Domenico, diffusi fenomeni erosivi) , **T.Ovesca** (Colpito l'intero comune di Villadossola), **T.Strona** (Allagamento dell'abitato di Gravellona ed il crollo di un ponte), **T.Anza** (Gravi danni alle infrastrutture nel territorio di Macugnaga e Ceppo Morelli, inneschi torrentizi diffusi sull'idrografia minore, comune di Calasca Castiglione, una frana smembra completamente il comune di Piedimulera). *Vittime umane*
7 ottobre 1977	Segnalato Toce in piena
7 agosto 1978	**TOCE** (Alluvionato il comune di Beura e Pallanzeno), **T. Terzasca (Ovesca)** (Ingenti fenomeni di trasporto di massa , interessata la località Antrona Schieranco), Pluviografia a Domodossola: 223 mm/giorno, 50 mm/h, 138 mm/3h; fenomeni di trasporto solido interessano i bacini di **Melezzo** (Alluvionato Druogno) **, Fenecchio, basso Isorno e Anza**. *Vittime umane*
24 settembre 1993	**TOCE** (Segnalato colmo di piena in localita Mergozzo, colpite la località di Montecretese e quelle di Migiandone, Ornavasso e Gravellona), **T. Ovesca** (Valle Antrona, colpito il centro di Antrona Schieranco), **T. Anza** (Colpita Macugnaga) (Bacino confinante del Sesia: segnalati 2400 m^3/s a Borgosesia),
25 ottobre 1993	Interessati I bacini del: **T. Diveria** (Val Divedro, colpito il comune di Trasquera, località Paglino e Iselle, colpito il comune di Varzo, località Spagna), **T. Ovesca** (Valle Antrona, asportato un tratto di provinciale, colpite infrastrutture a monte di Antronapiana ed il centro di Viganella) **T. Anza** (interessato il tratto Macugnaga-Bannio Anzino, rigurgito in localita Ceppo Morelli), **Confluenza TOCE-Diveria-Isorno-Melezzo Occ**. (colpito il comune di Crevoladossola)
13 ottobre 2000	Colpite principalmente le aree alla confluenza del **TOCE** con gli affluenti **Diveria, Bogna, Ovesca, Anza**

ALLEGATO B

RISULTATI RELATIVI AL CALCOLO DELL'INDICE FARL PER OGNI SOTTOBACINO

$$FARL = \sum_i \alpha_i = \sum_i \left(1 - \sqrt{r_i}\right)^{w_i}$$

$$\begin{cases} r = \dfrac{\text{sup. lago}}{\text{area bacino sotteso}} \\ w = \dfrac{\text{area bacino sotteso}}{\text{area bacino alla sezione di chiusura in esame}} \end{cases}$$

FARL

sezione		TOCE	Rio del Sabbione	R.Roni	F.Vannino	T. Vova	T. Devero	T. Agaro	T.Cairasca	T.Diveria	R. Tomello	T.Isorno	T.Sangoria	R.Camposecco	T.Troncone	T.Loranco	T.Ovesca	T.Quarazza	T.Anza	T.Strona
ASTA	POSIZIONE																			
Rio del Sabbione	Lago Sabbione		0,718																	
TOCE	Lago Morasco	0,750																		
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni	0,765																		
Rio Roni	Lago ValToggia			0,698																
Rio Roni	confl. R.Roni-F.Toce			0,839																
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni	0,782																		
TOCE	confl. Valdo Nord	0,852																		
F. Vannino	Obersee Lago				0,692															
F. Vannino	Lago Vannino				0,716															
F. Vannino	confl. F.Vannino-F.Toce				0,856															
TOCE	confl. Valdo Sud	0,853																		
TOCE	confl. Rivasco Nord	0,888																		
T. Vova	Lago Busin inferiore					0,631														
T. Vova	confl. T.Vova-F.Toce					0,921														
TOCE	confl. Rivasco sud	0,891																		
TOCE	Cadarese	0,904																		
TOCE	Verampio Nord	0,917																		
T.Devero	Lago Devero						0,804													
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro						0,935													
T.Agaro	Agaro (diga)							0,752												
T.Agaro	confl. T.Agaro-T.Devero							0,795												
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro						0,915													
T.Devero	confl. F.Toce						0,926													
TOCE	Verampio Sud	0,920																		
TOCE	confl. Nord Toce-Isorno-Diveria	0,932																		
T.Cairasca	Lago d'Avino								0,720											
T.Cairasca	Bertonio								0,977											
T.Diveria	confl. Ovest Diveria Toce									0,994										
R.Tomello	Alpe Larecchio (diga)										0,752									
R.Tomello	confl. R.Tomello-T.Isorno										0,861									
T.Isorno	Agrasina (diga)											0,932								
T.Isorno	confl. T.Isorno-F.Toce											0,983								
TOCE	confl. Sud Toce Isorno Diveria	0,962																		
TOCE	Domodossola Nord	0,969																		
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca	0,971																		
T.Sangoria	Lago Cingino												0,791							
T.Bonella	Camposecco (diga)													0,694						
T.Troncone	Camplicciolì (diga)														0,846					
T.Troncone	Antrona (lago)														0,801					
T.Troncone	confl. T.Troncone-T.Ovesca														0,832					
R.Loranco	Alpe Cavalli (diga)															0,857				
R.Loranco	confl. R.Loranco-T.Ovesca															0,903				
T.Ovesca	confl. Loranco Troncone Ovesca																0,861			
T.Ovesca	confl. T.Ovesca-F.Toce																0,918			
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca	0,964																		
TOCE	confl Nord F.Toce-T.Anza	0,965																		
T.Quarazza	Quarazza (diga)																	0,966		
T.Quarazza	confl. T.Quarazza-T.Anza																	0,967		
T.Anza	confl. Sud T.Anza-T.Quarazza																		0,989	
T.Anza	Ceppo Morelli (diga)																		0,975	
T.Anza	Pontegrande																		0,984	
T.Anza	confl. T.Anza-F.Toce																		0,988	
TOCE	confl Sud F.Toce-T.Anza	0,969																		
TOCE	Candoglia	0,971																		
T.Strona	Omegna Lago d'Orta																			0,583
T.Strona	confl. T.Strona-F.Toce																			0,774
TOCE	Gravellona Toce Nord	0,972																		
TOCE	Gravellona Toce Sud	0,945																		
TOCE	Lago Maggiore	0,945																		

$$FARL = \sum_i \alpha_i = \sum_i \left(1 - \sqrt{r_i}\right)^{w_i}$$

$$\begin{cases} r = \dfrac{\text{sup. lago}}{\text{area bacino sotteso}} \\ w = \dfrac{\text{area bacino sotteso}}{\text{area bacino alla sezione di chiusura in esame}} \end{cases}$$

		Lago Sabbione			Lago Morasco			Lago ValToggia			Obersee		
		sup. LAGO [km²] =		1,21	sup. LAGO [km²] =		0,65	sup. LAGO [km²] =		0,81	sup. LAGO [km²] =		0,21
		sup. Bac. Sott. [km²] =		15,2	sup. Bac. Sott. [km²] =		35,42	sup. Bac. Sott. [km²] =		8,9	sup. Bac. Sott. [km²] =		2,22
		parametro r =		0,0796	parametro r =		0,0184	parametro r =		0,0910	parametro r =		0,0946
sezione		A alla sezione d'interesse	w	α	A alla sezione d'interesse	w	α	A alla sezione d'interesse	w	α	A alla sezione d'interesse	w	α
ASTA	POSIZIONE	[km²]	[-]	[-]	[km²]	[-]	[-]	[km²]	[-]	[-]	[km²]	[-]	[-]
Rio del Sabbione	Lago Sabbione	15,20	1,000	0,718									
TOCE	Lago Morasco	35,42	0,429	0,867	35,42	1,000	0,865						
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni	38,02	0,400	0,876	38,02	0,932	0,873						
Rio Roni	Lago ValToggia							8,9	1,000	0,698			
Rio Roni	confl. R.Roni-F.Toce							18,21	0,489	0,839			
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni	56,23	0,270	0,914	56,23	0,630	0,912	49,37	0,180	0,937			
TOCE	confl. Valdo Nord	83,45	0,182	0,941	83,45	0,424	0,940	83,45	0,107	0,962			
F. Vannino	Obersee Lago										2,22	1,000	0,692
F. Vannino	Lago Vannino										9,8	0,227	0,920
F. Vannino	confl. F.Vannino-F.Toce										20,97	0,106	0,962
TOCE	confl. Valdo Sud	104,42	0,146	0,953	104,42	0,339	0,952	104,42	0,085	0,970	104,42	0,021	0,992
TOCE	confl. Rivasco Nord	140,6	0,108	0,965	140,6	0,252	0,964	140,6	0,063	0,978	140,6	0,016	0,994
T. Vova	Lago Busin inferiore												
T. Vova	confl. T.Vova-F.Toce												
TOCE	confl. Rivasco sud	154,62	0,098	0,968	154,62	0,229	0,967	154,62	0,058	0,980	154,62	0,014	0,995
TOCE	Cadarese	176,82	0,086	0,972	176,82	0,200	0,971	176,82	0,050	0,982	176,82	0,013	0,995
TOCE	Verampio Nord	204,85	0,074	0,976	204,85	0,173	0,975	204,85	0,043	0,985	204,85	0,011	0,996
T.Devero	Lago Devero												
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro												
T.Agaro	Agaro (diga)												
T.Agaro	confl. T.Agaro-T.Devero												
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro												
T.Devero	confl. F.Toce												
TOCE	Verampio Sud	315,19	0,048	0,984	315,19	0,112	0,984	315,19	0,028	0,990	315,19	0,007	0,997
TOCE	confl. Nord Toce-Isorno-Diveria	371,84	0,041	0,987	371,84	0,095	0,986	371,84	0,024	0,991	371,84	0,006	0,998
T.Cairasca	Lago d'Avino												
T.Cairasca	Bertonio												
T.Diveria	confl. Ovest Diveria Toce												
R.Tomello	Alpe Larecchio (diga)												
R.Tomello	confl. R.Tomello-T.Isorno												
T.Isorno	Agrasina (diga)												
T.Isorno	confl. T.Isorno-F.Toce												
TOCE	confl. Sud Toce Isorno Diveria	766,17	0,020	0,993	766,17	0,046	0,993	766,17	0,012	0,996	766,17	0,003	0,999
TOCE	Domodossola Nord	916,85	0,017	0,995	916,85	0,039	0,994	916,85	0,010	0,997	916,85	0,002	0,999
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca	1008,46	0,015	0,995	1008,46	0,035	0,995	1008,46	0,009	0,997	1008,46	0,002	0,999
T.Sangoria	Lago Cingino												
T.Bonella	Camposecco (diga)												
T.Troncone	Camplicciolì (diga)												
T.Troncone	Antrona (lago)												
T.Troncone	confl. T.Troncone-T.Ovesca												
R.Loranco	Alpe Cavalli (diga)												
R.Loranco	confl. R.Loranco-T.Ovesca												
T.Ovesca	confl. Loranco Troncone Ovesca												
T.Ovesca	confl. T.Ovesca-F.Toce												
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca	1156,56	0,013	0,996	1156,56	0,031	0,996	1156,56	0,008	0,997	1156,56	0,002	0,999
TOCE	confl Nord F.Toce-T.Anza	1185,08	0,013	0,996	1185,08	0,030	0,996	1185,08	0,008	0,997	1185,08	0,002	0,999
T.Quarazza	Quarazza (diga)												
T.Quarazza	confl. T.Quarazza-T.Anza												
T.Anza	confl. Sud T.Anza-T.Quarazza												
T.Anza	Ceppo Morelli (diga)												
T.Anza	Pontegrande												
T.Anza	confl. T.Anza-F.Toce												
TOCE	confl Sud F.Toce-T.Anza	1442,55	0,011	0,997	1442,55	0,025	0,996	1442,55	0,006	0,998	1442,55	0,002	0,999
TOCE	Candoglia	1559,55	0,010	0,997	1559,55	0,023	0,997	1559,55	0,006	0,998	1559,55	0,001	0,999
T.Strona	Omegna Lago d'Orta												
T.Strona	confl. T.Strona-F.Toce												
TOCE	Gravellona Toce Nord	1576,46	0,010	0,997	1576,46	0,022	0,997	1576,46	0,006	0,998	1576,46	0,001	0,999
TOCE	Gravellona Toce Sud	1793,4	0,008	0,997	1793,4	0,020	0,997	1793,4	0,005	0,998	1793,4	0,001	1,000
TOCE	Lago Maggiore	1796,77	0,008	0,997	1796,77	0,020	0,997	1796,77	0,005	0,998	1796,77	0,001	1,000

$$FARL = \sum_i \alpha_i = \sum_i \left(1 - \sqrt{r_i}\right)^{w_i}$$

$$\begin{cases} r = \dfrac{\text{sup. lago}}{\text{area bacino sotteso}} \\ w = \dfrac{\text{area bacino sotteso}}{\text{area bacino alla sezione di chiusura in esame}} \end{cases}$$

		Lago Vannino			Busin Inferiore			Devero (Codelago + Forcoletta)			Agaro		
		sup. LAGO [km²] =		0,48	sup. LAGO [km²] =		0,34	sup. LAGO [km²] =		0,96	sup. LAGO [km²] =		0,65
		sup. Bac. Sott. [km²] =		9,8	sup. Bac. Sott. [km²] =		2,5	sup. Bac. Sott. [km²] =		25	sup. Bac. Sott. [km²] =		10,6
		parametro r =		0,0490	parametro r =		0,1360	parametro r =		0,0384	parametro r =		0,0613
sezione		A alla sezione d'interesse	w	α	A alla sezione d'interesse	w	α	A alla sezione d'interesse	w	α	A alla sezione d'interesse	w	α
ASTA	POSIZIONE	[km²]	[-]	[-]	[km²]	[-]	[-]	[km²]	[-]	[-]	[km²]	[-]	[-]
Rio del Sabbione	Lago Sabbione												
TOCE	Lago Morasco												
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni												
Rio Roni	Lago ValToggia												
Rio Roni	confl. R.Roni-F.Toce												
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni												
TOCE	confl. Valdo Nord												
F. Vannino	Obersee Lago												
F. Vannino	Lago Vannino	9,8	1,000	0,779									
F. Vannino	confl. F.Vannino-F.Toce	20,97	0,467	0,890									
TOCE	confl. Valdo Sud	104,42	0,094	0,977									
TOCE	confl. Rivasco Nord	140,6	0,070	0,983									
T. Vova	Lago Busin inferiore				2,5	1,000	0,631						
T. Vova	confl. T.Vova-F.Toce				14,02	0,178	0,921						
TOCE	confl. Rivasco sud	154,62	0,063	0,984	154,62	0,016	0,993						
TOCE	Cadarese	176,82	0,055	0,986	176,82	0,014	0,994						
TOCE	Verampio Nord	204,85	0,048	0,988	204,85	0,012	0,994						
T.Devero	Lago Devero							25	1,000	0,804			
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro							81,77	0,306	0,935			
T.Agaro	Agaro (diga)										10,6	1,000	0,752
T.Agaro	confl. T.Agaro-T.Devero										13,17	0,805	0,795
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro							94,94	0,263	0,944	94,94	0,112	0,969
T.Devero	confl. F.Toce							110,34	0,227	0,952	110,34	0,096	0,973
TOCE	Verampio Sud	315,19	0,031	0,992	315,19	0,008	0,996	315,19	0,079	0,983	315,19	0,034	0,990
TOCE	confl. Nord Toce-Isorno-Diveria	371,84	0,026	0,993	371,84	0,007	0,997	371,84	0,067	0,985	371,84	0,029	0,992
T.Cairasca	Lago d'Avino												
T.Cairasca	Bertonio												
T.Diveria	confl. Ovest Diveria Toce												
R.Tomello	Alpe Larecchio (diga)												
R.Tomello	confl. R.Tomello-T.Isorno												
T.Isorno	Agrasina (diga)												
T.Isorno	confl. T.Isorno-F.Toce												
TOCE	confl. Sud Toce Isorno Diveria	766,17	0,013	0,997	766,17	0,003	0,998	766,17	0,033	0,993	766,17	0,014	0,996
TOCE	Domodossola Nord	916,85	0,011	0,997	916,85	0,003	0,999	916,85	0,027	0,994	916,85	0,012	0,997
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca	1008,46	0,010	0,998	1008,46	0,002	0,999	1008,46	0,025	0,995	1008,46	0,011	0,997
T.Sangoria	Lago Cingino												
T.Bonella	Camposecco (diga)												
T.Troncone	Camplicciolì (diga)												
T.Troncone	Antrona (lago)												
T.Troncone	confl. T.Troncone-T.Ovesca												
R.Loranco	Alpe Cavalli (diga)												
R.Loranco	confl. R.Loranco-T.Ovesca												
T.Ovesca	confl. Loranco Troncone Ovesca												
T.Ovesca	confl. T.Ovesca-F.Toce												
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca	1156,56	0,008	0,998	1156,56	0,002	0,999	1156,56	0,022	0,995	1156,56	0,009	0,997
TOCE	confl Nord F.Toce-T.Anza	1185,08	0,008	0,998	1185,08	0,002	0,999	1185,08	0,021	0,995	1185,08	0,009	0,997
T.Quarazza	Quarazza (diga)												
T.Quarazza	confl. T.Quarazza-T.Anza												
T.Anza	confl. Sud T.Anza-T.Quarazza												
T.Anza	Ceppo Morelli (diga)												
T.Anza	Pontegrande												
T.Anza	confl. T.Anza-F.Toce												
TOCE	confl Sud F.Toce-T.Anza	1442,55	0,007	0,998	1442,55	0,002	0,999	1442,55	0,017	0,996	1442,55	0,007	0,998
TOCE	Candoglia	1559,55	0,006	0,998	1559,55	0,002	0,999	1559,55	0,016	0,997	1559,55	0,007	0,998
T.Strona	Omegna Lago d'Orta												
T.Strona	confl. T.Strona-F.Toce												
TOCE	Gravellona Toce Nord	1576,46	0,006	0,998	1576,46	0,002	0,999	1576,46	0,016	0,997	1576,46	0,007	0,998
TOCE	Gravellona Toce Sud	1793,4	0,005	0,999	1793,4	0,001	0,999	1793,4	0,014	0,997	1793,4	0,006	0,998
TOCE	Lago Maggiore	1796,77	0,005	0,999	1796,77	0,001	0,999	1796,77	0,014	0,997	1796,77	0,006	0,998

$$FARL = \sum_i \alpha_i = \sum_i \left(1 - \sqrt{r_i}\right)^{w_i}$$

$$\begin{cases} r = \dfrac{\text{sup. lago}}{\text{area bacino sotteso}} \\ w = \dfrac{\text{area bacino sotteso}}{\text{area bacino alla sezione di chiusura in esame}} \end{cases}$$

		Lago d'Avino			Alpe Larecchio			Agrasina			Lago Cingino		
		sup. LAGO [km²] =		0,43	sup. LAGO [km²] =		0,18	sup. LAGO [km²] =		0,01	sup. LAGO [km²] =		0,14
		sup. Bac. Sott. [km²] =		5,5	sup. Bac. Sott. [km²] =		2,93	sup. Bac. Sott. [km²] =		17,8	sup. Bac. Sott. [km²] =		3,2
		parametro r =		0,0782	parametro r =		0,0614	parametro r =		0,0006	parametro r =		0,0438
sezione		A alla sezione d'interesse	w	α	A alla sezione d'interesse	w	α	A alla sezione d'interesse	w	α	A alla sezione d'interesse	w	α
ASTA	POSIZIONE	[km²]	[-]	[-]	[km²]	[-]	[-]	[km²]	[-]	[-]	[km²]	[-]	[-]
Rio del Sabbione	Lago Sabbione												
TOCE	Lago Morasco												
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni												
Rio Roni	Lago ValToggia												
Rio Roni	confl. R.Roni-F.Toce												
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni												
TOCE	confl. Valdo Nord												
F. Vannino	Obersee Lago												
F. Vannino	Lago Vannino												
F. Vannino	confl. F.Vannino-F.Toce												
TOCE	confl. Valdo Sud												
TOCE	confl. Rivasco Nord												
T. Vova	Lago Busin inferiore												
T. Vova	confl. T.Vova-F.Toce												
TOCE	confl. Rivasco sud												
TOCE	Cadarese												
TOCE	Verampio Nord												
T.Devero	Lago Devero												
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro												
T.Agaro	Agaro (diga)												
T.Agaro	confl. T.Agaro-T.Devero												
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro												
T.Devero	confl. F.Toce												
TOCE	Verampio Sud												
TOCE	confl. Nord Toce-Isorno-Diveria												
T.Cairasca	Lago d'Avino	5,5	1,000	0,720									
T.Cairasca	Bertonio	78,98	0,070	0,977									
T.Diveria	confl. Ovest Diveria Toce	321,09	0,017	0,994									
R.Tomello	Alpe Larecchio (diga)				2,93	1,000	0,752						
R.Tomello	confl. R.Tomello-T.Isorno				5,56	0,527	0,861						
T.Isorno	Agrasina (diga)				17,8	0,165	0,954	17,8	1,000	0,976			
T.Isorno	confl. T.Isorno-F.Toce				73,24	0,040	0,989	73,24	0,243	0,994			
TOCE	confl. Sud Toce Isorno Diveria	766,17	0,007	0,998	766,17	0,004	0,999	766,17	0,023	0,999			
TOCE	Domodossola Nord	916,85	0,006	0,998	916,85	0,003	0,999	916,85	0,019	1,000			
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca	1008,46	0,005	0,998	1008,46	0,003	0,999	1008,46	0,018	1,000			
T.Sangoria	Lago Cingino										3,2	1,000	0,791
T.Bonella	Camposecco (diga)												
T.Troncone	Camplicciolì (diga)										34	0,094	0,978
T.Troncone	Antrona (lago)										41	0,078	0,982
T.Troncone	confl. T.Troncone-T.Ovesca										49,41	0,065	0,985
R.Loranco	Alpe Cavalli (diga)												
R.Loranco	confl. R.Loranco-T.Ovesca												
T.Ovesca	confl. Loranco Troncone Ovesca										84,26	0,038	0,991
T.Ovesca	confl. T.Ovesca-F.Toce										148,1	0,022	0,995
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca	1156,56	0,005	0,998	1156,56	0,003	0,999	1156,56	0,015	1,000	1156,56	0,003	0,999
TOCE	confl Nord F.Toce-T.Anza	1185,08	0,005	0,998	1185,08	0,002	0,999	1185,08	0,015	1,000	1185,08	0,003	0,999
T.Quarazza	Quarazza (diga)												
T.Quarazza	confl. T.Quarazza-T.Anza												
T.Anza	confl. Sud T.Anza-T.Quarazza												
T.Anza	Ceppo Morelli (diga)												
T.Anza	Pontegrande												
T.Anza	confl. T.Anza-F.Toce												
TOCE	confl Sud F.Toce-T.Anza	1442,55	0,004	0,999	1442,55	0,002	0,999	1442,55	0,012	1,000	1442,55	0,002	0,999
TOCE	Candoglia	1559,55	0,004	0,999	1559,55	0,002	0,999	1559,55	0,011	1,000	1559,55	0,002	1,000
T.Strona	Omegna Lago d'Orta												
T.Strona	confl. T.Strona-F.Toce												
TOCE	Gravellona Toce Nord	1576,46	0,003	0,999	1576,46	0,002	0,999	1576,46	0,011	1,000	1576,46	0,002	1,000
TOCE	Gravellona Toce Sud	1793,4	0,003	0,999	1793,4	0,002	1,000	1793,4	0,010	1,000	1793,4	0,002	1,000
TOCE	Lago Maggiore	1796,77	0,003	0,999	1796,77	0,002	1,000	1796,77	0,010	1,000	1796,77	0,002	1,000

$$FARL = \sum_i \alpha_i = \sum_i \left(1 - \sqrt{r_i}\right)^{w_i}$$

$$\begin{cases} r = \dfrac{\text{sup. lago}}{\text{area bacino sotteso}} \\ w = \dfrac{\text{area bacino sotteso}}{\text{area bacino alla sezione di chiusura in esame}} \end{cases}$$

Camposecco		Camplicciolì		Antrona		Alpe Cavalli	
sup. LAGO [km²] =	0,38	sup. LAGO [km²] =	0,32	sup. LAGO [km²] =	0,2575	sup. LAGO [km²] =	0,47
sup. Bac. Sott. [km²] =	4,05	sup. Bac. Sott. [km²] =	34	sup. Bac. Sott. [km²] =	41	sup. Bac. Sott. [km²] =	23
parametro r =	0,0938	parametro r =	0,0094	parametro r =	0,0063	parametro r =	0,0204

sezione		Camposecco			Camplicciolì			Antrona			Alpe Cavalli		
ASTA	POSIZIONE	A alla sezione d'interesse [km²]	w [-]	α [-]	A alla sezione d'interesse [km²]	w [-]	α [-]	A alla sezione d'interesse [km²]	w [-]	α [-]	A alla sezione d'interesse [km²]	w [-]	α [-]
Rio del Sabbione	Lago Sabbione												
TOCE	Lago Morasco												
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni												
Rio Roni	Lago ValToggia												
Rio Roni	confl. R.Roni-F.Toce												
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni												
TOCE	confl. Valdo Nord												
F. Vannino	Obersee Lago												
F. Vannino	Lago Vannino												
F. Vannino	confl. F.Vannino-F.Toce												
TOCE	confl. Valdo Sud												
TOCE	confl. Rivasco Nord												
T. Vova	Lago Busin inferiore												
T. Vova	confl. T.Vova-F.Toce												
TOCE	confl. Rivasco sud												
TOCE	Cadarese												
TOCE	Verampio Nord												
T.Devero	Lago Devero												
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro												
T.Agaro	Agaro (diga)												
T.Agaro	confl. T.Agaro-T.Devero												
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro												
T.Devero	confl. F.Toce												
TOCE	Verampio Sud												
TOCE	confl. Nord Toce-Isorno-Diveria												
T.Cairasca	Lago d'Avino												
T.Cairasca	Bertonio												
T.Diveria	confl. Ovest Diveria Toce												
R.Tomello	Alpe Larecchio (diga)												
R.Tomello	confl. R.Tomello-T.Isorno												
T.Isorno	Agrasina (diga)												
T.Isorno	confl. T.Isorno-F.Toce												
TOCE	confl. Sud Toce Isorno Diveria												
TOCE	Domodossola Nord												
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca												
T.Sangoria	Lago Cingino												
T.Bonella	Camposecco (diga)	4,05	1,000	0,694									
T.Troncone	Camplicciolì (diga)	34	0,119	0,957	34	1,000	0,903						
T.Troncone	Antrona (lago)	41	0,099	0,965	41	0,829	0,919	41	1,000	0,921			
T.Troncone	confl. T.Troncone-T.Ovesca	49,41	0,082	0,970	49,41	0,688	0,932	49,41	0,830	0,934			
R.Loranco	Alpe Cavalli (diga)										23	1,000	0,857
R.Loranco	confl. R.Loranco-T.Ovesca										34,85	0,660	0,903
T.Ovesca	confl. Loranco Troncone Ovesca	84,26	0,048	0,983	84,26	0,404	0,960	84,26	0,487	0,961	84,26	0,273	0,959
T.Ovesca	confl. T.Ovesca-F.Toce	148,1	0,027	0,990	148,1	0,230	0,977	148,1	0,277	0,977	148,1	0,155	0,976
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca	1156,56	0,004	0,999	1156,56	0,029	0,997	1156,56	0,035	0,997	1156,56	0,020	0,997
TOCE	confl Nord F.Toce-T.Anza	1185,08	0,003	0,999	1185,08	0,029	0,997	1185,08	0,035	0,997	1185,08	0,019	0,997
T.Quarazza	Quarazza (diga)												
T.Quarazza	confl. T.Quarazza-T.Anza												
T.Anza	confl. Sud T.Anza-T.Quarazza												
T.Anza	Ceppo Morelli (diga)												
T.Anza	Pontegrande												
T.Anza	confl. T.Anza-F.Toce												
TOCE	confl Sud F.Toce-T.Anza	1442,55	0,003	0,999	1442,55	0,024	0,998	1442,55	0,028	0,998	1442,55	0,016	0,998
TOCE	Candoglia	1559,55	0,003	0,999	1559,55	0,022	0,998	1559,55	0,026	0,998	1559,55	0,015	0,998
T.Strona	Omegna Lago d'Orta												
T.Strona	confl. T.Strona-F.Toce												
TOCE	Gravellona Toce Nord	1576,46	0,003	0,999	1576,46	0,022	0,998	1576,46	0,026	0,998	1576,46	0,015	0,998
TOCE	Gravellona Toce Sud	1793,4	0,002	0,999	1793,4	0,019	0,998	1793,4	0,023	0,998	1793,4	0,013	0,998
TOCE	Lago Maggiore	1796,77	0,002	0,999	1796,77	0,019	0,998	1796,77	0,023	0,998	1796,77	0,013	0,998

$$FARL = \sum_i \alpha_i = \sum_i \left(1 - \sqrt{r_i}\right)^{w_i}$$

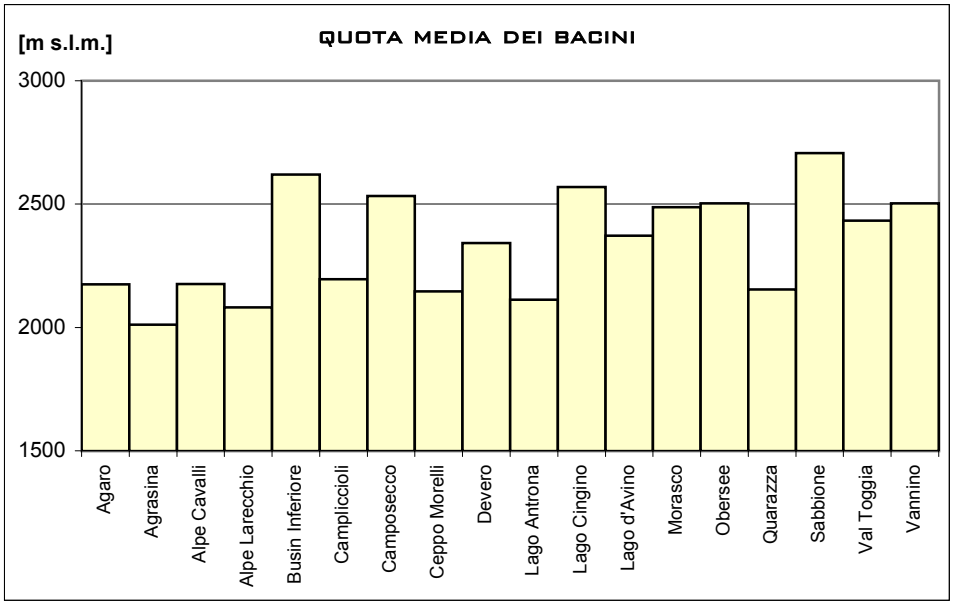
$$\begin{cases} r = \dfrac{\text{sup. lago}}{\text{area bacino sotteso}} \\ w = \dfrac{\text{area bacino sotteso}}{\text{area bacino alla sezione di chiusura in esame}} \end{cases}$$

		Quarazza			Ceppo Morelli			Lago d'Orta		
		sup. LAGO [km²] =		0,03	sup. LAGO [km²] =		0,04	sup. LAGO [km²] =		17,94
		sup. Bac. Sott. [km²] =		25,6	sup. Bac. Sott. [km²] =		124,5	sup. Bac. Sott. [km²] =		103,11
		parametro r =		0,0012	parametro r =		0,0003	parametro r =		0,1740
sezione		A alla sezione d'interesse	**w**	**α**	A alla sezione d'interesse	**w**	**α**	A alla sezione d'interesse	**w**	**α**
ASTA	POSIZIONE	[km²]	[-]	[-]	[km²]	[-]	[-]	[km²]	[-]	[-]
Rio del Sabbione	Lago Sabbione									
TOCE	Lago Morasco									
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni									
Rio Roni	Lago ValToggia									
Rio Roni	confl. R.Roni-F.Toce									
TOCE	confl. F.Toce-R.Roni									
TOCE	confl. Valdo Nord									
F. Vannino	Obersee Lago									
F. Vannino	Lago Vannino									
F. Vannino	confl. F.Vannino-F.Toce									
TOCE	confl. Valdo Sud									
TOCE	confl. Rivasco Nord									
T. Vova	Lago Busin inferiore									
T. Vova	confl. T.Vova-F.Toce									
TOCE	confl. Rivasco sud									
TOCE	Cadarese									
TOCE	Verampio Nord									
T.Devero	Lago Devero									
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro									
T.Agaro	Agaro (diga)									
T.Agaro	confl. T.Agaro-T.Devero									
T.Devero	confl. T.Devero-T.Agaro									
T.Devero	confl. F.Toce									
TOCE	Verampio Sud									
TOCE	confl. Nord Toce-Isorno-Diveria									
T.Cairasca	Lago d'Avino									
T.Cairasca	Bertonio									
T.Diveria	confl. Ovest Diveria Toce									
R.Tomello	Alpe Larecchio (diga)									
R.Tomello	confl. R.Tomello-T.Isorno									
T.Isorno	Agrasina (diga)									
T.Isorno	confl. T.Isorno-F.Toce									
TOCE	confl. Sud Toce Isorno Diveria									
TOCE	Domodossola Nord									
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca									
T.Sangoria	Lago Cingino									
T.Bonella	Camposecco (diga)									
T.Troncone	Camplicciolì (diga)									
T.Troncone	Antrona (lago)									
T.Troncone	confl. T.Troncone-T.Ovesca									
R.Loranco	Alpe Cavalli (diga)									
R.Loranco	confl. R.Loranco-T.Ovesca									
T.Ovesca	confl. Loranco Troncone Ovesca									
T.Ovesca	confl. T.Ovesca-F.Toce									
TOCE	confl. F.Toce-T.Ovesca									
TOCE	confl Nord F.Toce-T.Anza									
T.Quarazza	Quarazza (diga)	25,6	1,000	0,966						
T.Quarazza	confl. T.Quarazza-T.Anza	26,21	0,977	0,967						
T.Anza	confl. Sud T.Anza-T.Quarazza	83,38	0,307	0,989						
T.Anza	Ceppo Morelli (diga)	124,5	0,206	0,993	124,5	1,000	0,982			
T.Anza	Pontegrande	190,09	0,135	0,995	190,09	0,655	0,988			
T.Anza	confl. T.Anza-F.Toce	257,47	0,099	0,997	257,47	0,484	0,991			
TOCE	confl Sud F.Toce-T.Anza	1442,55	0,018	0,999	1442,55	0,086	0,998			
TOCE	Candoglia	1559,55	0,016	0,999	1559,55	0,080	0,999			
T.Strona	Omegna Lago d'Orta							103,11	1,000	0,583
T.Strona	confl. T.Strona-F.Toce							216,94	0,475	0,774
TOCE	Gravellona Toce Nord	1576,46	0,016	0,999	1576,46	0,079	0,999			
TOCE	Gravellona Toce Sud	1793,4	0,014	1,000	1793,4	0,069	0,999	1793,4	0,057	0,969
TOCE	Lago Maggiore	1796,77	0,014	1,000	1796,77	0,069	0,999	1796,77	0,057	0,969

ALLEGATO C

PRINCIPALI CARATTERISTICHE GEOMORFOCLIMATICHE DEI BACINI SOTTESI DAGLI INVASI

INVASO	corso d'acqua	coordinate Gauss-Boaga X	Y	quota media del bacino [m s.l.m.]
Agaro	Torrente Agaro	1446342,36	5126748,70	2174,55
Agrasina	Torrente Isorno	1454432,99	5118773,35	2011,86
Alpe Cavalli	Rio Loranco	1431423,90	5104095,96	2175,57
Alpe Larecchio	Rio Tomello	1456074,57	5117007,41	2081,00
Busin Inferiore	Torrente Vova	1451119,79	5133498,06	2619,75
Camplicciolì	Rio Troncone	1428670,94	5099858,77	2195,25
Camposecco	Rio Bonella	1426565,99	5101177,04	2532,50
Ceppo Morelli	Torrente Anza	1427347,14	5091195,13	2146,52
Devero	Torrente Devero	1444762,53	5131401,82	2341,62
Lago Antrona	Rio Troncone	1429932,87	5100751,00	2112,95
Lago Cingino	Torrente Sangoria	1425591,46	5097909,13	2569,75
Lago d'Avino	Torrente Ciamciavero	1433228,24	5122223,81	2372,17
Morasco	Fiume Toce	1454001,34	5141466,18	2487,54
Obersee	Emissari Lago	1450514,84	5137144,02	2503,50
Quarazza	Torrente Quarazza	1421541,90	5089479,59	2154,15
Sabbione	Rio del Sabbione	1449904,79	5141251,63	2706,77
Val Toggia	Rio Roni	1456381,07	5142748,21	2432,75
Vannino	Fiume Vannino	1451219,55	5136971,41	2503,50



INVASO	AREE SIGNIFICATIVE - [km²]									
	bacino	ridotta	impermeabile	zona arida	zona intermedia	zona umida	bassa permeabilità **A1**	media permeabilità **A2**	alta permeabilità con bosco **A3**	alta permeabilità senza bosco **A4**
Agaro	10,98	10,98	5,99	0,00	0,00	10,98	5,99	4,99	0,00	0,00
Agrasina	17,83	17,83	0,00	0,00	0,00	17,83	0,00	17,83	0,00	0,00
Alpe Cavalli	23,74	23,74	7,22	0,00	0,00	23,74	7,22	15,48	0,00	0,00
Alpe Larecchio	3,02	3,02	0,00	0,00	0,00	3,02	0,00	3,02	0,00	0,00
Busin Inferiore	2,54	2,54	2,54	0,00	0,00	2,54	2,54	0,00	0,00	0,00
Camplicciolì	35,19	35,19	11,73	0,00	0,00	35,19	11,73	23,46	0,00	0,00
Camposecco	4,08	4,08	2,04	0,00	0,00	4,08	2,04	2,04	0,00	0,00
Ceppo Morelli	121,00	121,00	14,88	0,00	5,17	115,83	14,88	92,24	0,00	0,00
Devero	25,38	25,38	10,74	0,00	0,00	25,38	10,74	13,66	0,00	0,00
Lago Antrona	42,67	42,67	14,88	0,00	0,00	42,67	14,88	27,78	0,00	0,00
Lago Cingino	3,06	3,06	1,53	0,00	0,00	3,06	1,53	1,53	0,00	0,00
Lago d'Avino	5,32	5,32	0,00	0,00	0,00	5,32	0,00	5,32	0,00	0,00
Morasco	35,26	35,26	23,17	0,00	0,00	34,25	23,17	0,00	0,00	0,00
Obersee	2,63	2,63	1,32	0,00	0,00	2,63	1,32	0,00	0,00	0,00
Quarazza	25,81	25,81	0,00	0,00	3,97	21,84	0,00	25,81	0,00	0,00
Sabbione	14,37	14,37	2,21	0,00	0,00	13,34	2,21	0,00	0,00	0,00
Val Toggia	10,32	10,32	6,45	0,00	0,00	10,32	6,45	3,87	0,00	0,00
Vannino	11,94	11,94	7,60	0,00	0,00	11,94	7,60	3,26	0,00	0,00

INVASO	PARAMETRI DI HORTON																
	n° aste per ordine						lunghezza media aste [m]						rapporti			n° d'ordine maggiore	lungh. corso d'acqua di ordine Ω
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	di biforcazione R_b	delle lunghezze R_l	delle aree R_a	Ω	L_Ω [m]
Agaro	59	8	2	1	-	-	309	469	2625	391	-	-	5,43	2,92	6,03	4	391
Agrasina	128	29	5	1	-	-	276	421	863	4866	-	-	5,06	1,77	4,76	4	4866
Alpe Cavalli	151	42	10	2	1	-	316	547	820	604	4970	-	4,22	1,26	3,78	5	4970
Alpe Larecchio	23	4	1	-	-	-	212	827	362	-	-	-	5,75	3,89	7,72	3	362
Busin Inferiore	20	5	1	-	-	-	268	578	1299	-	-	-	4,00	2,16	5,26	3	1299
Campliccioli	252	63	14	3	1	-	354	565	869	1555	4711	-	4,39	1,63	3,73	5	4711
Camposecco	32	9	3	1	-	-	296	500	180	686	-	-	3,27	1,28	3,02	4	686
Ceppo Morelli	818	200	52	16	4	1	374	660	881	954	3237	10662	3,73	1,60	3,61	6	10662
Devero	157	37	10	4	1	-	320	494	990	1587	1531	-	3,43	1,73	3,83	5	1531
Lago Antrona	11	2	1	-	-	-	871	4246	1573	-	-	-	5,50	4,88	8,26	3	1573
Lago Cingino	21	5	1	-	-	-	375	360	733	-	-	-	4,20	1,04	4,60	3	733
Lago d'Avino	39	14	4	1	-	-	298	353	229	1616	-	-	3,12	1,14	2,37	4	1616
Morasco	226	53	12	3	1	-	336	361	1319	3229	6453	-	4,24	2,24	4,78	5	6453
Obersee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quarazza	176	42	10	2	1	-	447	577	880	758	4171	-	4,42	1,22	3,77	5	4171
Sabbione	96	24	6	1	-	-	346	432	1542	2181	-	-	4,00	2,11	4,24	4	2181
Val Toggia	52	14	2	1	-	-	387	629	1597	674	-	-	5,10	2,03	5,86	4	674
Vannino	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

INVASO	PLUVIOMETRIA					
	durate inferiori ad 1 ora			durate comprese tra 1 e 24 ore		
	parametro		$\mu(I_0)$	parametro	esponente	$\mu[h(t=24ore)]$
	β [-]	d_c [ore]	[mm/ora]	**a** [mm]	**n** [-]	[mm]
Agaro	0,45	0,05	84,29	22,40	0,51	113,79
Agrasina	0,49	0,07	93,43	29,40	0,50	122,08
Alpe Cavalli	0,44	0,06	68,71	21,30	0,56	118,42
Alpe Larecchio	0,49	0,07	93,43	29,40	0,50	122,08
Busin Inferiore	0,48	0,06	91,87	24,00	0,46	114,89
Campliccioli	0,45	0,08	65,79	20,40	0,56	121,15
Camposecco	0,45	0,08	65,79	20,40	0,56	121,15
Ceppo Morelli	0,46	0,09	62,08	20,60	0,56	115,93
Devero	0,45	0,05	84,29	22,40	0,51	113,79
Lago Antrona	0,45	0,08	67,04	21,30	0,56	122,60
Lago Cingino	0,45	0,08	65,79	20,40	0,56	121,15
Lago d'Avino	0,43	0,04	79,00	21,50	0,54	115,16
Morasco	0,48	0,06	89,65	22,50	0,46	115,01
Obersee	0,47	0,06	89,85	22,80	0,47	116,01
Quarazza	0,46	0,10	62,23	21,70	0,55	117,48
Sabbione	0,48	0,06	89,65	22,50	0,46	115,01
Val Toggia	0,49	0,06	92,66	23,90	0,44	115,01
Vannino	0,47	0,06	89,85	22,80	0,47	116,01

INVASO	PORTATA INDICE - FORMULA RAZIONALE $\mu(Q) = c_f \cdot A \cdot \mu[I_A(t_R)] / 3,6$					
	coeff. di afflusso c_f	Area bacino **A** [km²]	Tempo di Ritardo t_R [ore]	media intensità di pioggia $\mu[I(t_R)]$ [mm/s]	Portata Indice $\mu(Q)$ [m³/s]	Coefficiente Udometrico **u** [(m³/s) / km²]
Agaro	0,24	10,98	0,56	26,71	19,55	1,78
Agrasina	0,24	17,83	1,13	26,64	31,66	1,78
Alpe Cavalli	0,24	23,74	1,25	18,35	29,03	1,22
Alpe Larecchio	0,24	3,02	0,46	34,26	6,90	2,28
Busin Inferiore	0,24	2,54	0,36	36,23	6,13	2,42
Camplicciolì	0,24	35,19	1,40	16,37	38,40	1,09
Camposecco	0,24	4,08	0,50	26,76	7,28	1,78
Ceppo Morelli	0,24	121,00	2,10	12,06	97,25	0,80
Devero	0,24	25,38	0,87	21,52	36,40	1,43
Lago Antrona	0,24	42,67	1,55	16,12	45,85	1,07
Lago Cingino	0,24	3,06	0,43	28,35	5,78	1,89
Lago d'Avino	0,24	5,32	0,50	25,52	9,04	1,70
Morasco	0,24	35,26	1,30	18,12	42,59	1,21
Obersee	0,24	2,63	0,36	35,62	6,25	2,37
Quarazza	0,24	25,81	1,00	20,49	35,26	1,37
Sabbione	0,24	14,37	0,82	23,94	22,93	1,60
Val Toggia	0,24	10,32	0,72	25,75	17,71	1,72
Vannino	0,24	11,94	0,73	26,07	20,75	1,74

INVASO	FATTORE DI CRESCITA K_T - PORTATE											
	tempo di ritorno T - [anni]											
	5	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**100**	**200**	**300**	**500**	**1000**	**2000**
Agaro	1,29	1,72	2,33	2,77	3,10	3,36	4,19	5,02	5,51	6,12	6,94	7,77
Agrasina	1,37	1,72	2,09	2,33	2,51	2,66	3,16	3,74	4,11	4,59	5,26	5,94
Alpe Cavalli	1,28	1,81	2,65	3,25	3,69	4,03	5,09	6,15	6,76	7,54	8,59	9,64
Alpe Larecchio	1,37	1,72	2,09	2,33	2,51	2,66	3,16	3,74	4,11	4,59	5,26	5,94
Busin Inferiore	1,29	1,72	2,34	2,81	3,17	3,47	4,40	5,33	5,87	6,56	7,49	8,42
Camplicciolì	1,29	1,81	2,62	3,20	3,63	3,96	4,99	6,03	6,63	7,39	8,42	9,45
Camposecco	1,29	1,81	2,62	3,20	3,63	3,96	4,99	6,03	6,63	7,39	8,42	9,45
Ceppo Morelli	1,28	1,83	2,71	3,34	3,79	4,15	5,25	6,34	6,98	7,78	8,87	9,96
Devero	1,28	1,73	2,38	2,86	3,21	3,49	4,36	5,23	5,74	6,38	7,25	8,12
Lago Antrona	1,30	1,80	2,56	3,11	3,52	3,84	4,83	5,82	6,40	7,13	8,12	9,11
Lago Cingino	1,29	1,81	2,62	3,20	3,63	3,96	4,99	6,03	6,63	7,39	8,42	9,45
Lago d'Avino	1,29	1,75	2,41	2,89	3,25	3,54	4,43	5,32	5,84	6,49	7,38	8,26
Morasco	1,20	1,86	3,05	3,83	4,37	4,80	6,10	7,41	8,17	9,13	10,42	11,72
Obersee	1,22	1,82	2,88	3,58	4,08	4,47	5,67	6,87	7,56	8,44	9,63	10,83
Quarazza	1,28	1,82	2,67	3,27	3,71	4,06	5,13	6,19	6,81	7,60	8,66	9,72
Sabbione	1,24	1,43	1,62	1,73	1,81	1,87	2,05	2,24	2,35	2,49	2,67	2,86
Val Toggia	1,31	1,69	2,17	2,53	2,82	3,07	3,89	4,73	5,23	5,86	6,71	7,57
Vannino	1,22	1,82	2,88	3,58	4,08	4,47	5,67	6,87	7,56	8,44	9,63	10,83

ALLEGATO D

SCHEDE SINGOLI INVASI.
RISULTATI CALCOLO EFFETTO LAMINAZIONE

CODICE	INVASO
1	Agaro
2	Agrasina
3	Alpe Cavalli
4	Alpe Larecchio
5	Busin Inferiore
6	Camplicciolì
7	Camposecco
8	Ceppo Morelli
9 a	Devero – Codelago
9 b	Devero – Forcoletta
10 a	Lago Antrona "A"
10 b	Lago Antrona "B"
11	Lago Cingino
12	Lago Castel
13	Lago d'Avino
14	Morasco
15 a	Obersee Lago
15 b	Obersee Sinistro
16	Quarazza
17	Sabbione
18	Val Toggia
19	Vannino

DIGA DI AGARO

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 19,55 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,29	25,22	4,46	0,177	0,17	27,3	102,0	3,734	0,177
10	1,72	33,63	6,97	0,207	0,22	82,2	134,5	1,636	0,233
20	2,33	45,55	11,55	0,254	0,30	187,8	184,0	0,980	0,319
30	2,77	54,15	15,64	0,289	0,37	283,6	222,2	0,783	0,385
40	3,10	60,61	19,10	0,315	0,41	366,2	251,6	0,687	0,436
50	3,36	65,69	22,10	0,336	0,45	437,7	275,5	0,629	0,477
100	4,19	81,91	32,82	0,401	0,58	704,6	352,2	0,500	0,610
200	5,02	98,14	44,41	0,453	0,70	1030,6	425,2	0,413	0,736
300	5,51	107,72	51,30	0,476	0,76	1251,0	465,1	0,372	0,804
500	6,12	119,65	59,63	0,498	0,84	1554,8	510,8	0,329	0,883
1000	6,94	135,68	70,35	0,518	0,93	2014,8	566,2	0,281	0,978
1347	*7,14*	*139,53*	*72,85*	*0,522*	*0,95*	*2134,0*	*578,7*	*0,271*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,51 #

area totale del bacino **A** = 10,98 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 2,07 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,556 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,900 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,49 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1547,05 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1597,55 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 20,35 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 0,053 Mm³

esponente **m1** = 1,519 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 1596,60 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 19,77 Mm³

carico massimo sulla soglia: 0,95 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 79,144 m³/s

esponente **n1** = 1,612 #

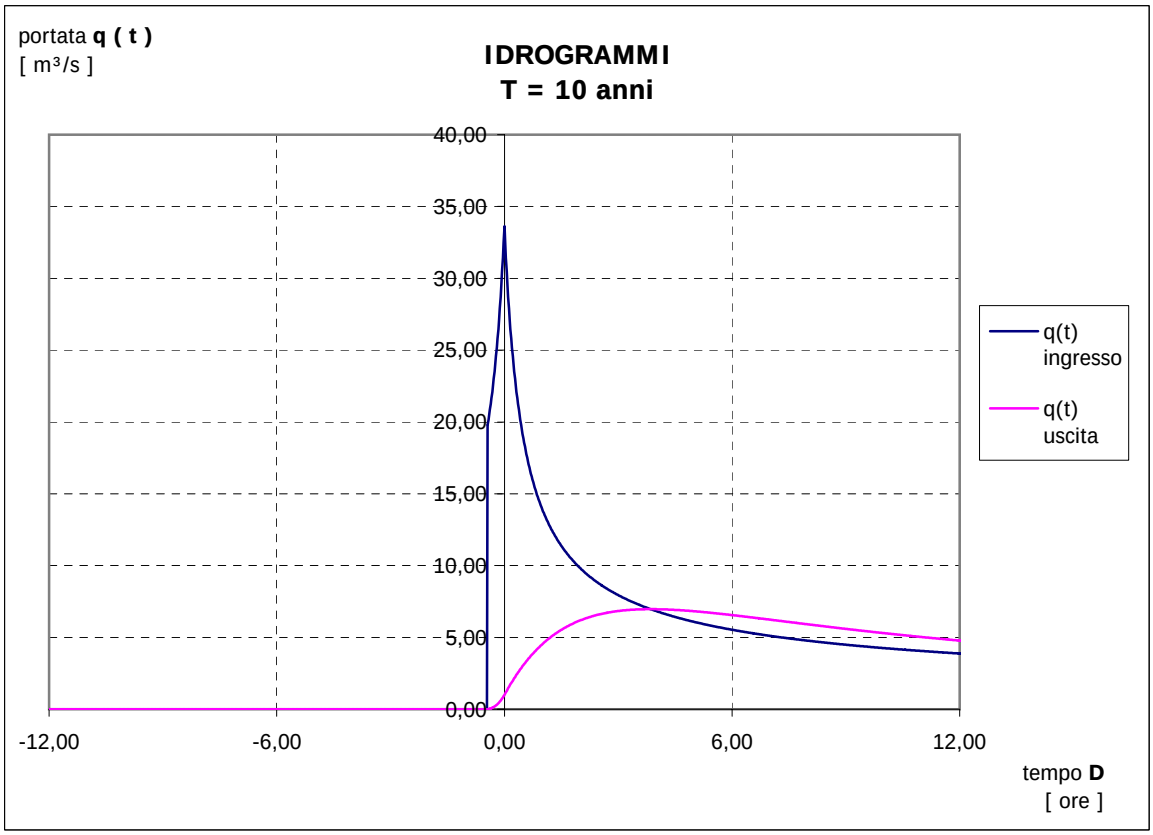
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

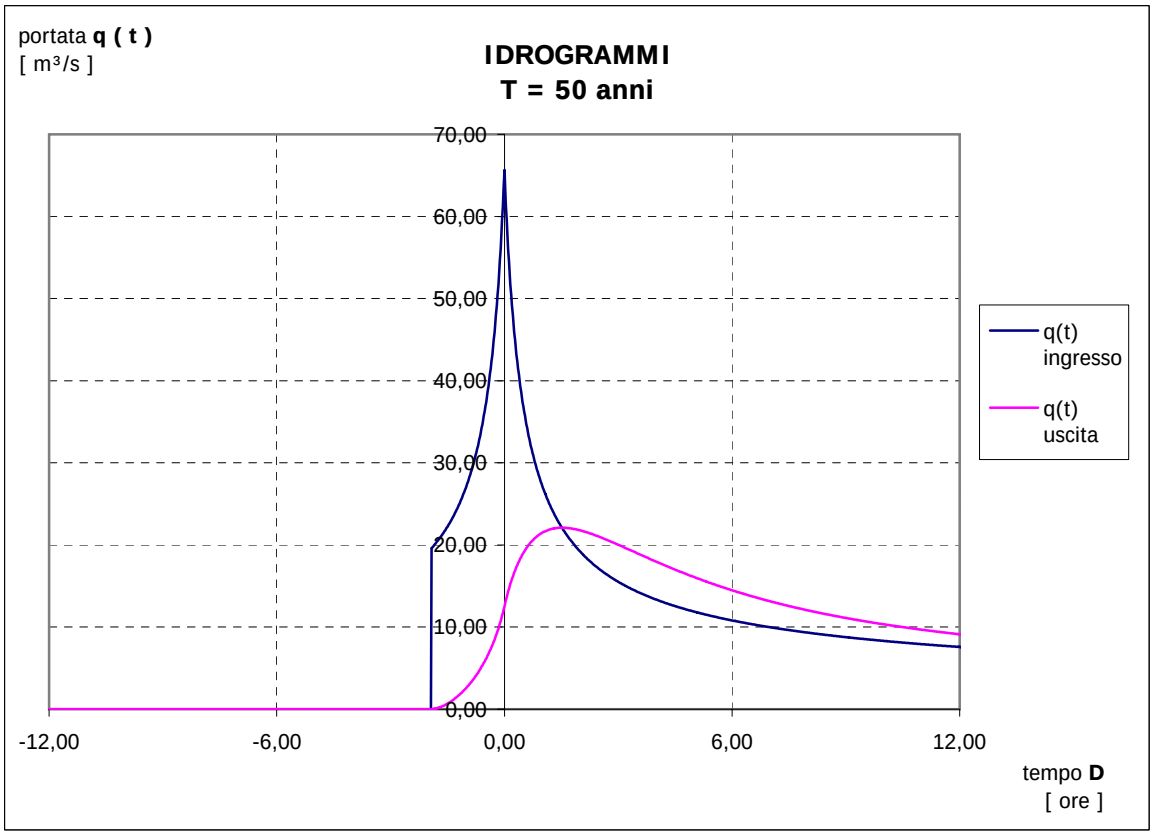
portata al colmo Q_T = **139,53** m³ / s

fattore di crescita K_T = 7,14

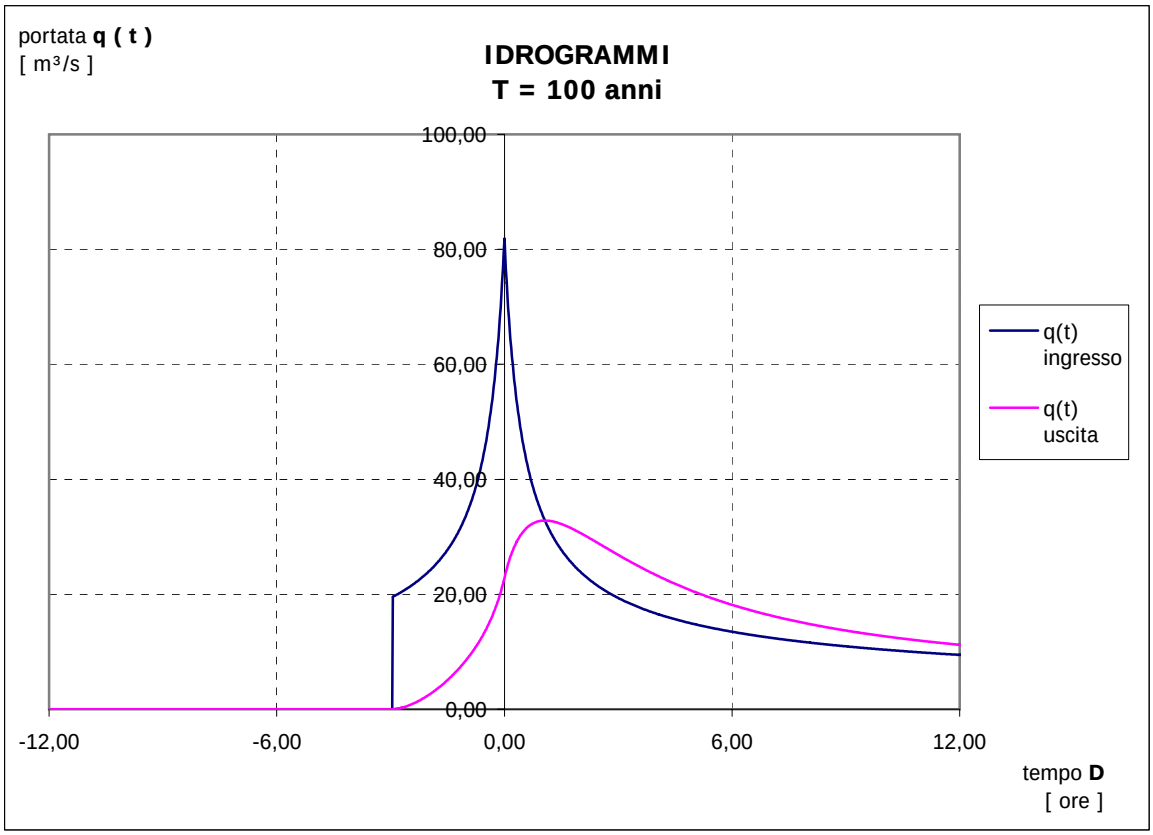
tempo di ritorno stimato **T** = 1347 anni

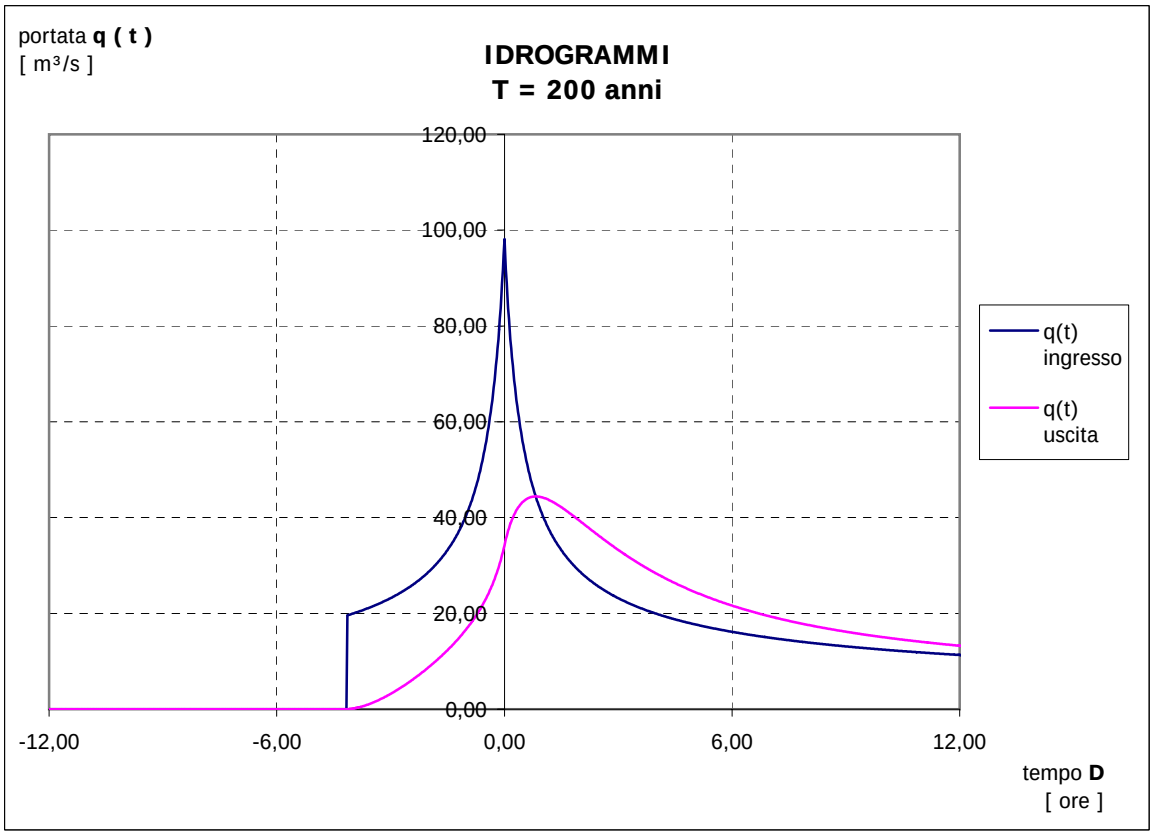
DIGA DI **AGARO**

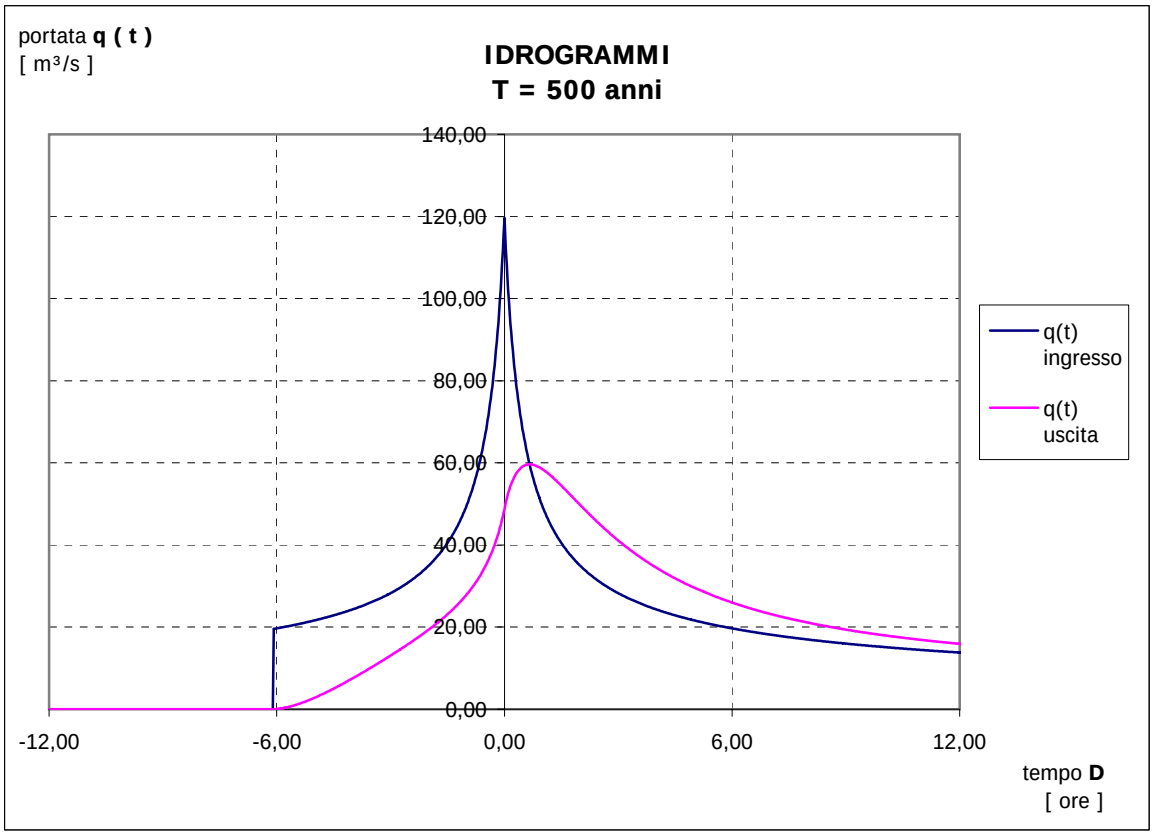


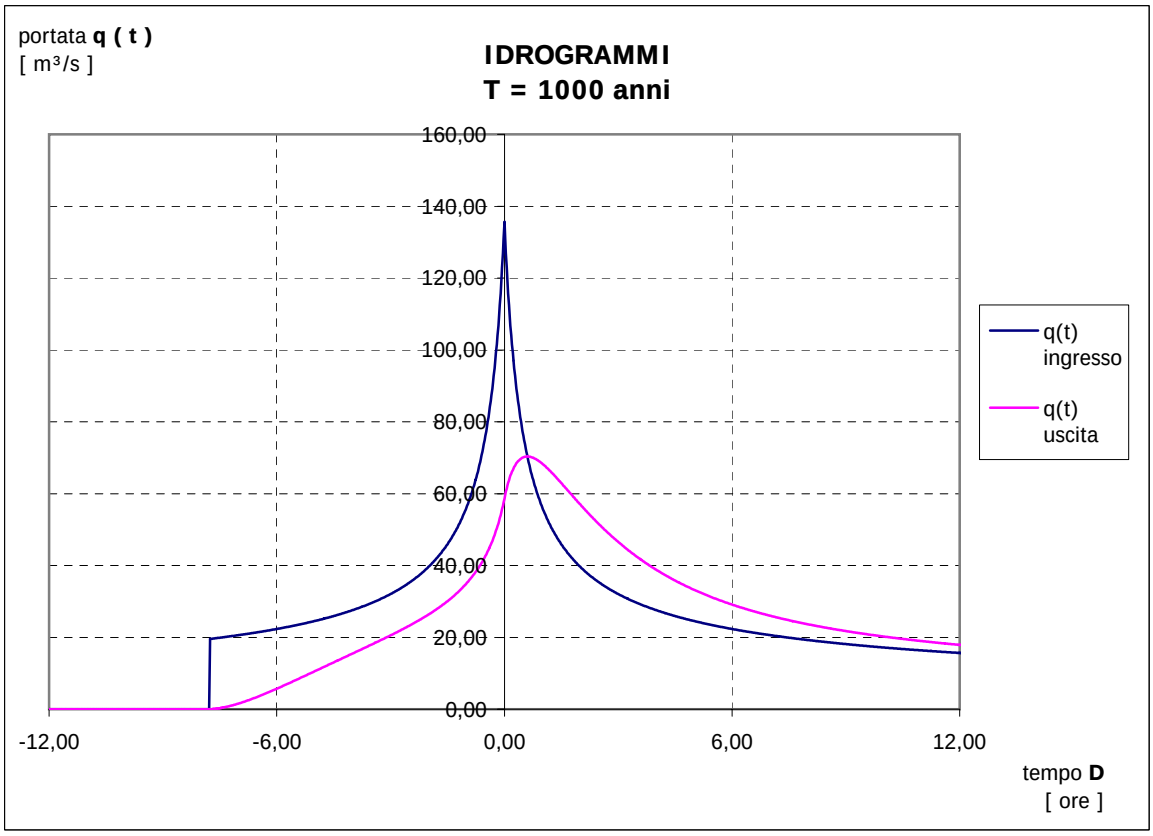


DIGA DI AGARO

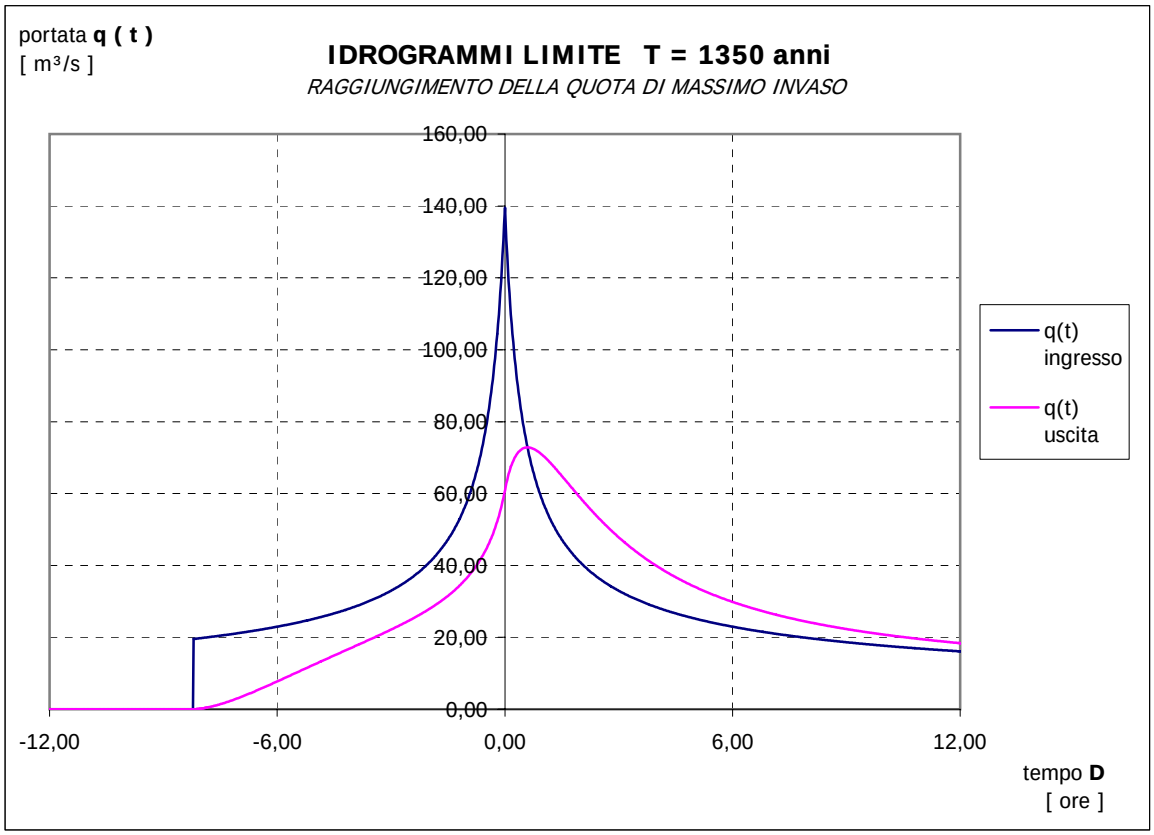


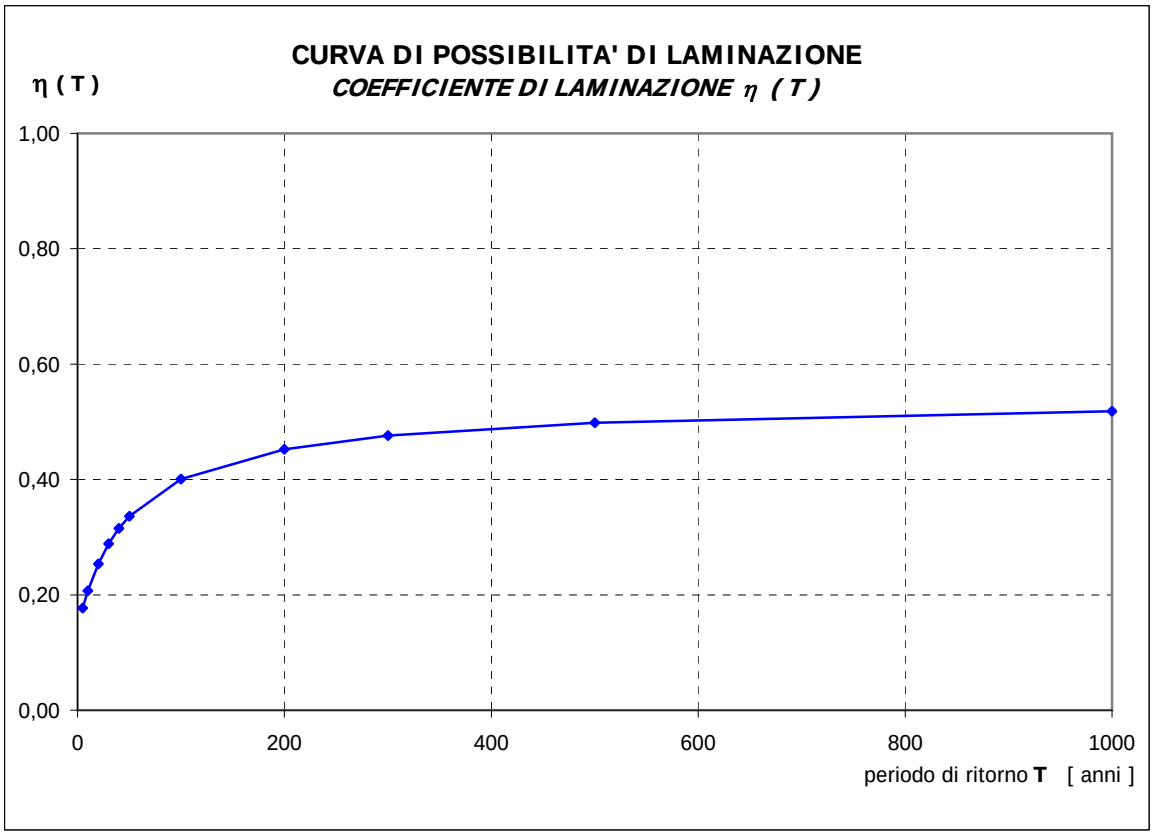


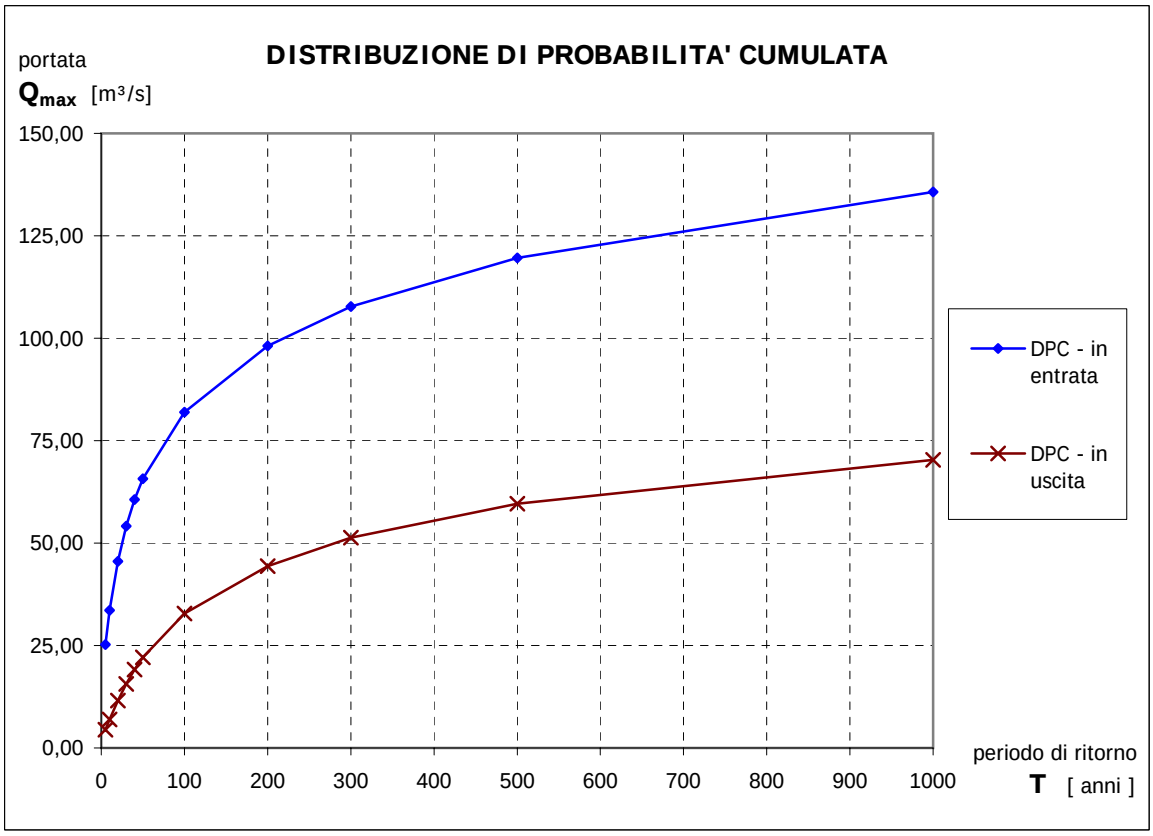

portata q (t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 500 anni
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo D
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


portata q (t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 1000 anni
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo D
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

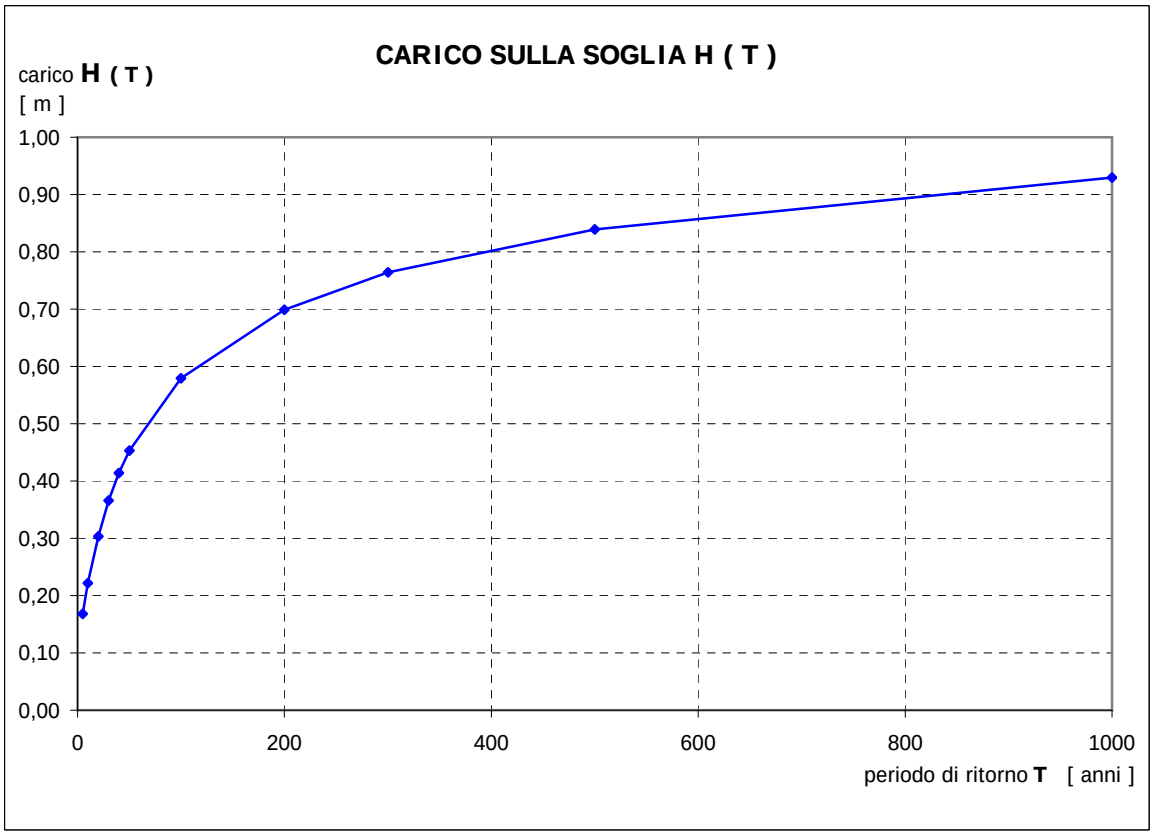
DIGA DI **AGARO**

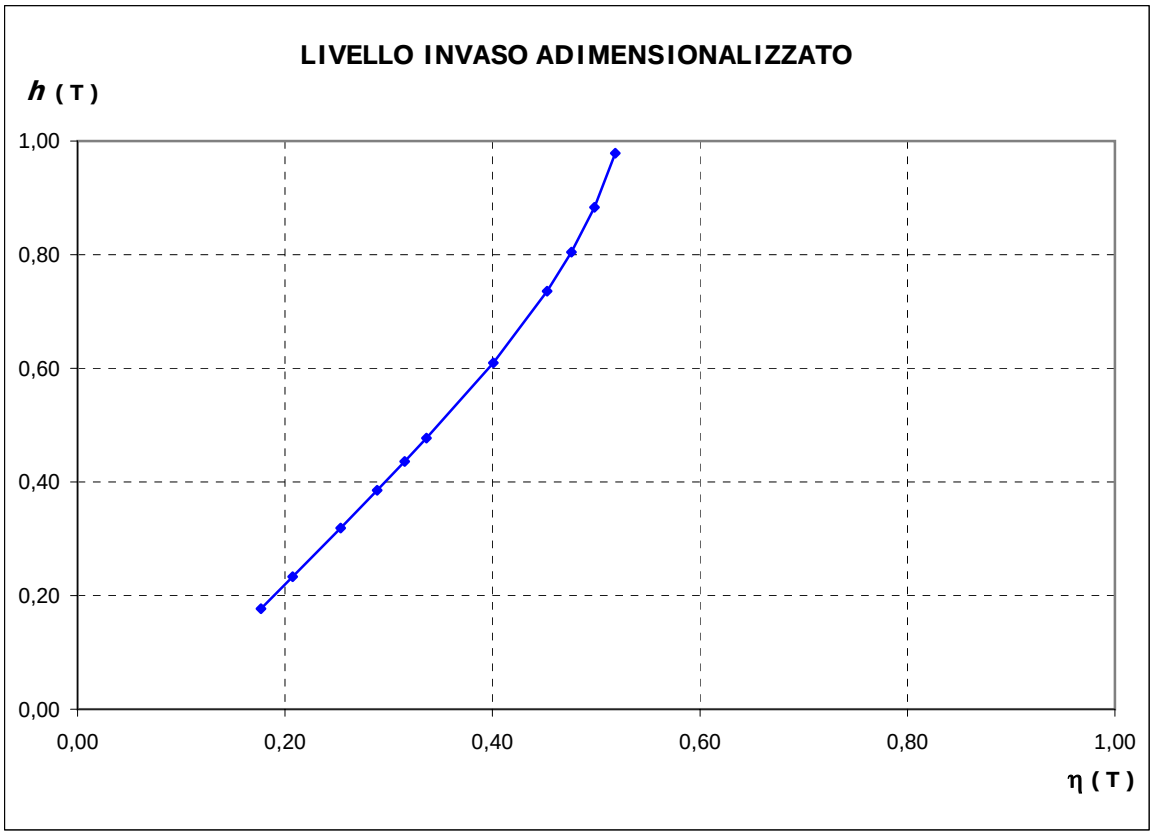



CURVA DI POSSIBILITA' DI LAMINAZIONE
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE η (T)
η (T)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]

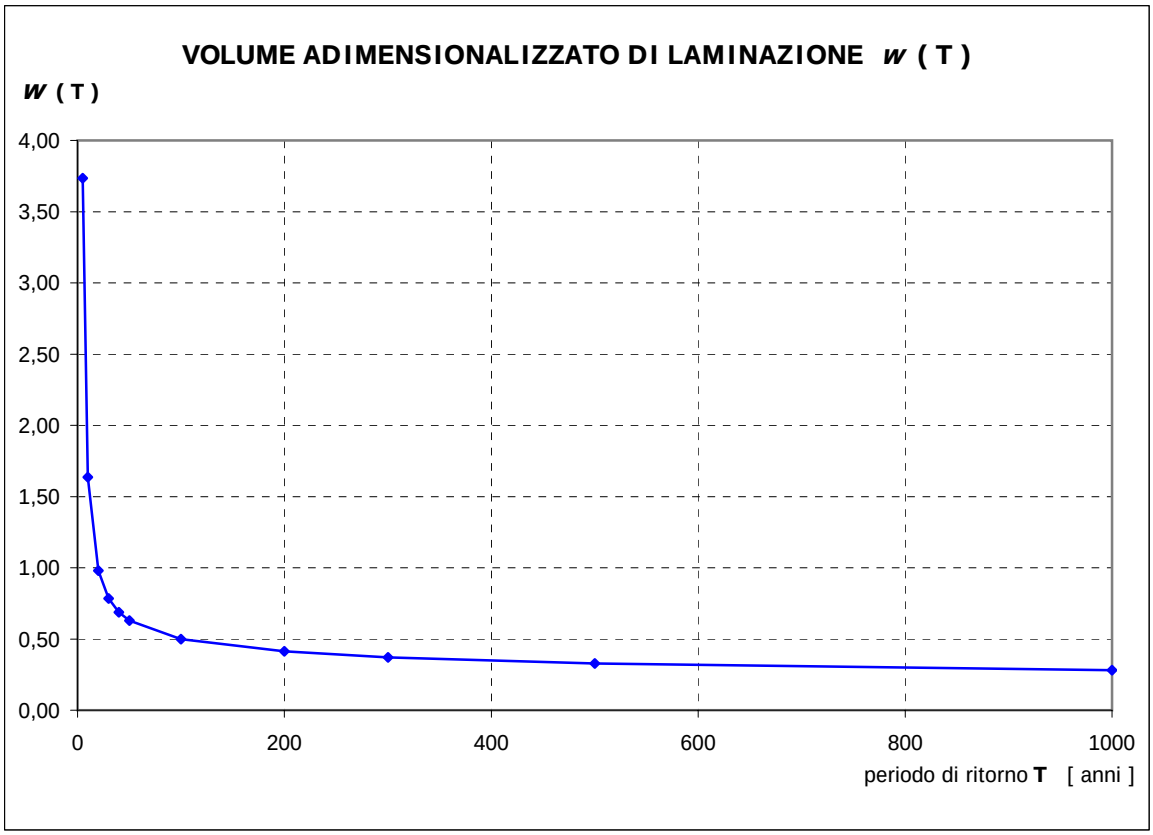

DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' CUMULATA
portata
Qmax [m³/s]
150,00
125,00
100,00
75,00
50,00
25,00
0,00
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
periodo di ritorno
T [anni]
DPC - in entrata
DPC - in uscita

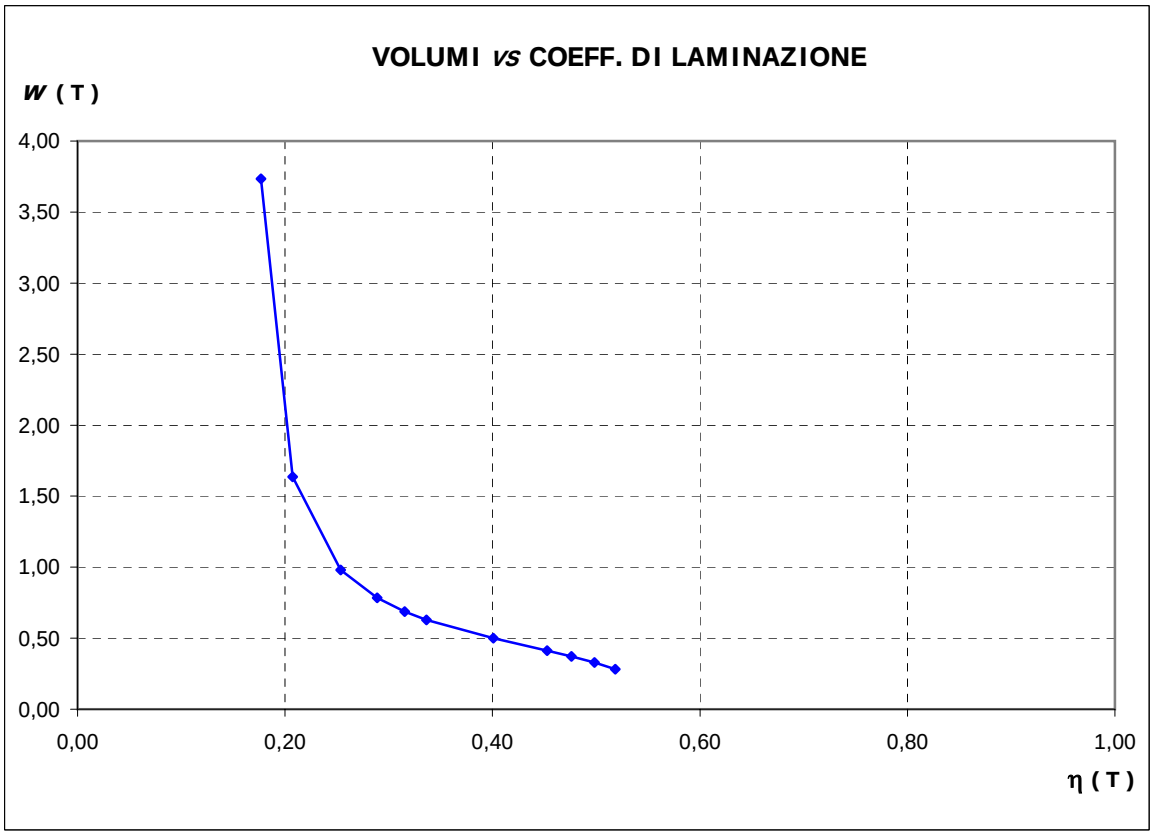
DIGA DI **AGARO**





DIGA DI **AGARO**





DIGA DI AGRASINA

LAMINAZIONE - 1° SCARICO DI SUPERFICIE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 31,66 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,37	43,37	41,66	0,961	1,52	116,1	19,7	0,170	1,519
10	1,72	54,46	52,62	0,966	1,76	262,1	23,1	0,088	1,762
20	2,09	66,17	64,12	0,969	2,00	452,3	26,3	0,058	1,998
30	2,33	73,77	71,59	0,970	2,14	594,7	28,4	0,048	2,143
40	2,51	79,47	77,19	0,971	2,25	711,2	29,9	0,042	2,248
50	2,66	84,22	81,86	0,972	2,33	814,6	31,1	0,038	2,334
100	3,16	100,05	97,43	0,974	2,61	1200,4	35,0	0,029	2,607
200	3,74	118,41	115,51	0,976	2,91	1726,8	39,3	0,023	2,905
300	4,11	130,12	127,04	0,976	3,09	2106,9	42,0	0,020	3,087
500	4,59	145,32	142,01	0,977	3,31	2651,3	45,4	0,017	3,313
1000	5,26	166,53	162,91	0,978	3,62	3508,5	50,0	0,014	3,616
3,6	*0,86*	*27,26*	*21,60*	*0,792*	*1,00*	*-32,6*	*12,8*	*-0,393*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,5 #

area totale del bacino **A** = 17,83 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,30 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 1,128 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,443 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,5 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1348,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1368,30 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 0,124 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 1,617E-04 Mm³

esponente **m1** = 2,200 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 1367,30 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 0,11 Mm³

carico massimo sulla soglia: 1,00 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 21,600 m³/s

esponente **n1** = 1,572 #

PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

portata al colmo Q_T = **27,26** m³ / s

fattore di crescita K_T = 0,86

tempo di ritorno stimato **T** = 3,6 anni

DIGA DI AGRASINA

LAMINAZIONE - 1° + 2° SCARICO DI SUPERFICIE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 31,66 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,37	43,37	41,31	0,952	1,21	116,1	13,8	0,119	0,404
10	1,72	54,46	51,79	0,951	1,56	262,1	18,0	0,069	0,522
20	2,09	66,17	62,75	0,948	1,94	452,3	22,6	0,050	0,648
30	2,33	73,77	70,77	0,959	2,24	594,7	26,3	0,044	0,748
40	2,51	79,47	77,27	0,972	2,37	711,2	28,0	0,039	0,791
50	2,66	84,22	82,04	0,974	2,46	814,6	29,1	0,036	0,821
100	3,16	100,05	97,64	0,976	2,75	1200,4	32,8	0,027	0,917
200	3,74	118,41	115,72	0,977	3,06	1726,8	36,9	0,021	1,021
300	4,11	130,12	127,26	0,978	3,25	2106,9	39,5	0,019	1,085
500	4,59	145,32	142,24	0,979	3,49	2651,3	42,7	0,016	1,164
1000	5,26	166,53	163,14	0,980	3,81	3508,5	47,0	0,013	1,270
150	*3,62*	*114,55*	*111,93*	*0,977*	*3,00*	*1609,3*	*36,1*	*0,022*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,5 #

area totale del bacino **A** = 17,83 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,30 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 1,128 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,443 ore^{-1}

esponente **c = (1 - n)** = 0,5 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1348,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1368,30 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 0,124 Mm³

equazione adottata: **V** = $v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 1,617E-04 Mm³

esponente **m1** = 2,200 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia 2° scarico di superficie: 1365,30 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia 2° sc. sup.: 0,09 Mm³

carico massimo sulla soglia: 3,00 m

equazione adottata: q_u = $ci \cdot H^{ni}$

Funzionamento a stramazzo:

coefficiente **c1** = 19,761 m³/s

esponente **n1** = 1,579 #

quota inizio funzionamento a battente: 1367,30 m s.l.m.

Funzionamento a battente:

coefficiente **c2** = 34,794 m³/s

esponente **n2** = 0,888 #

PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

portata al colmo Q_T = **114,55** m³ / s

fattore di crescita K_T = 3,62

tempo di ritorno stimato **T** = 150 anni

DIGA DI AGRASINA

LAMINAZIONE - 3° SCARICO DI SUPERFICIE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 31,66 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,37	43,37	42,18	0,972	1,43	116,1	16,3	0,140	0,475
10	1,72	54,46	53,10	0,975	1,65	262,1	19,0	0,072	0,550
20	2,09	66,17	64,66	0,977	1,87	452,3	21,6	0,048	0,622
30	2,33	73,77	72,15	0,978	2,00	594,7	23,3	0,039	0,666
40	2,51	79,47	77,78	0,979	2,10	711,2	24,5	0,034	0,698
50	2,66	84,22	82,46	0,979	2,17	814,6	25,5	0,031	0,725
100	3,16	100,05	98,13	0,981	2,42	1200,4	28,6	0,024	0,808
200	3,74	118,41	116,35	0,983	2,70	1726,9	32,1	0,019	0,900
300	4,11	130,12	127,99	0,984	2,87	2106,9	34,3	0,016	0,955
500	4,59	145,32	143,08	0,985	3,07	2651,4	37,1	0,014	1,024
1000	5,26	166,53	164,16	0,986	3,35	3508,6	40,8	0,012	1,117
444	*4,42*	*139,92*	*137,72*	*0,984*	*3,00*	*2451,2*	*36,1*	*0,015*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,5 #

area totale del bacino **A** = 17,83 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,30 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 1,128 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,443 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,5 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1348,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1368,30 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 0,124 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 1,617E-04 Mm³

esponente **m1** = 2,200 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 1365,30 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 0,09 Mm³

carico massimo sulla soglia: 3,00 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 23,966 m³/s

esponente **n1** = 1,592 #

PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

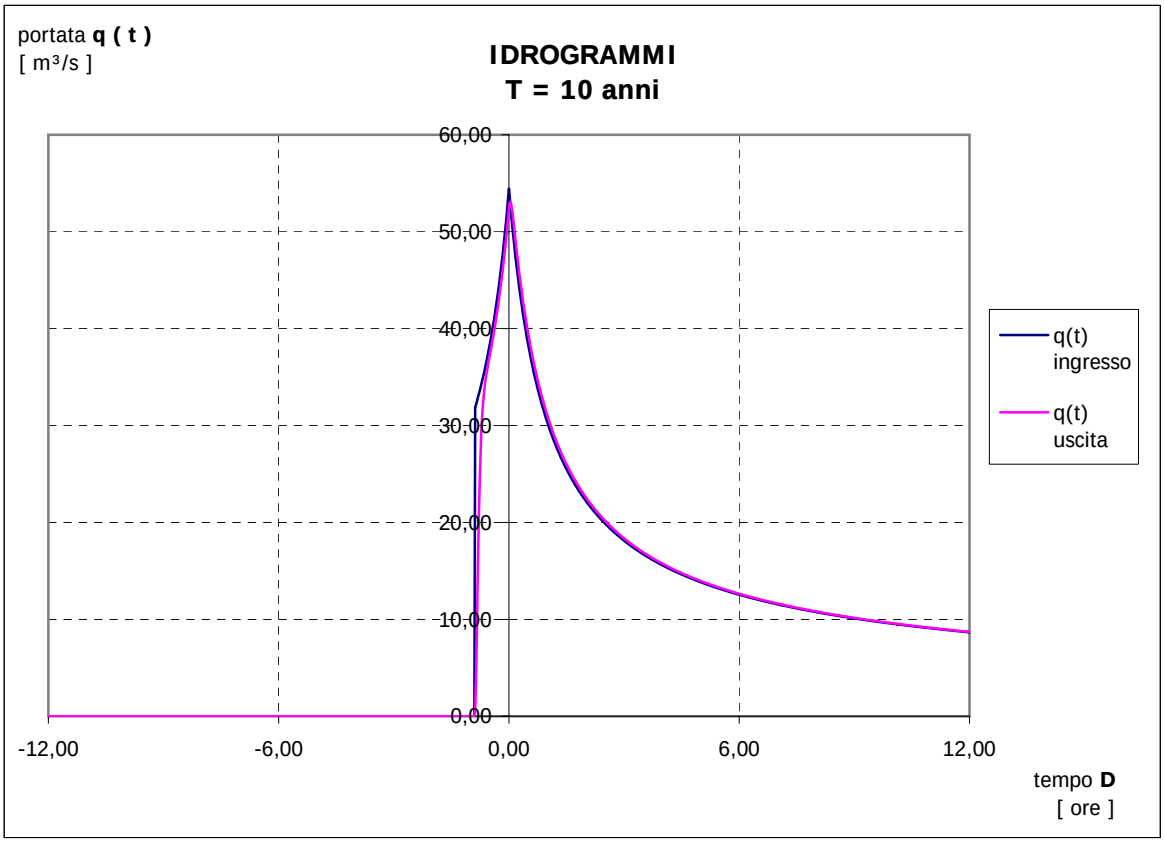
portata al colmo Q_T = **139,92** m³ / s

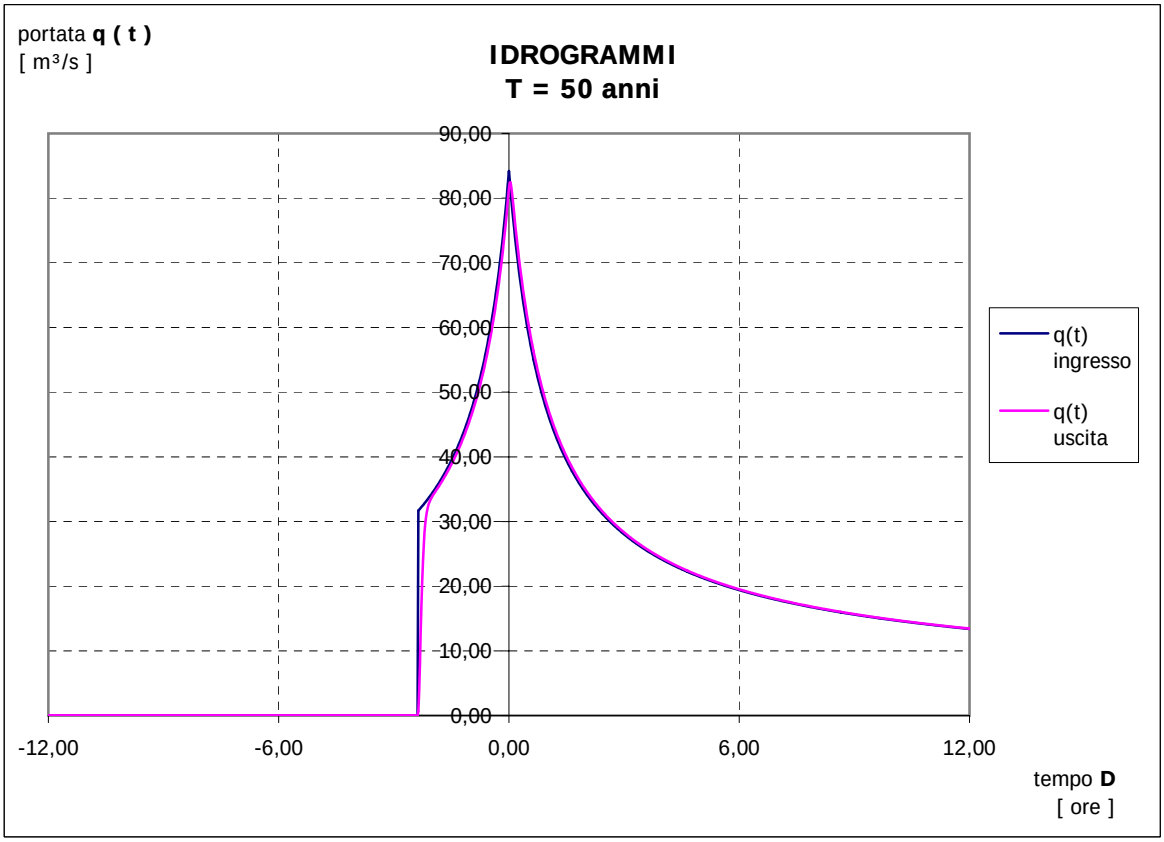
fattore di crescita K_T = **4,42**

tempo di ritorno stimato **T** = **444,42** anni

DIGA DI AGRASINA

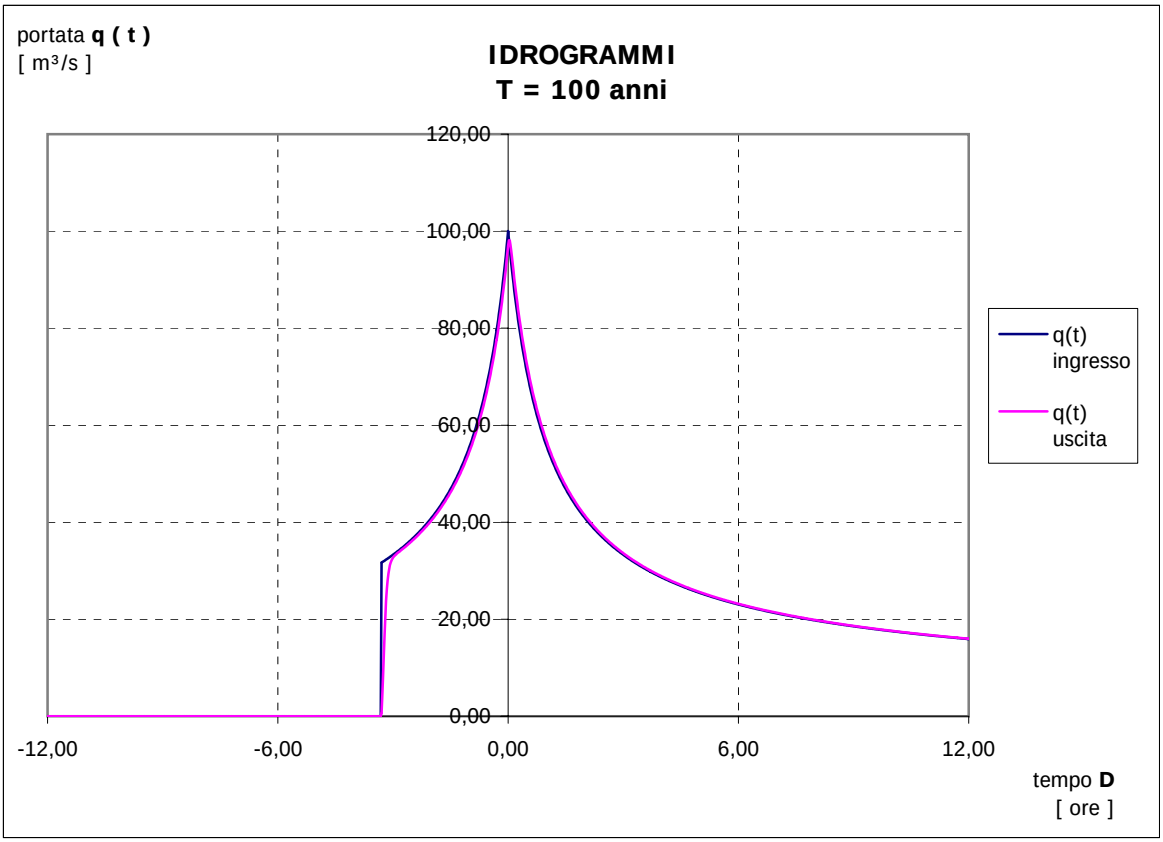
LAMINAZIONE - 3° SCARICO DI SUPERFICIE

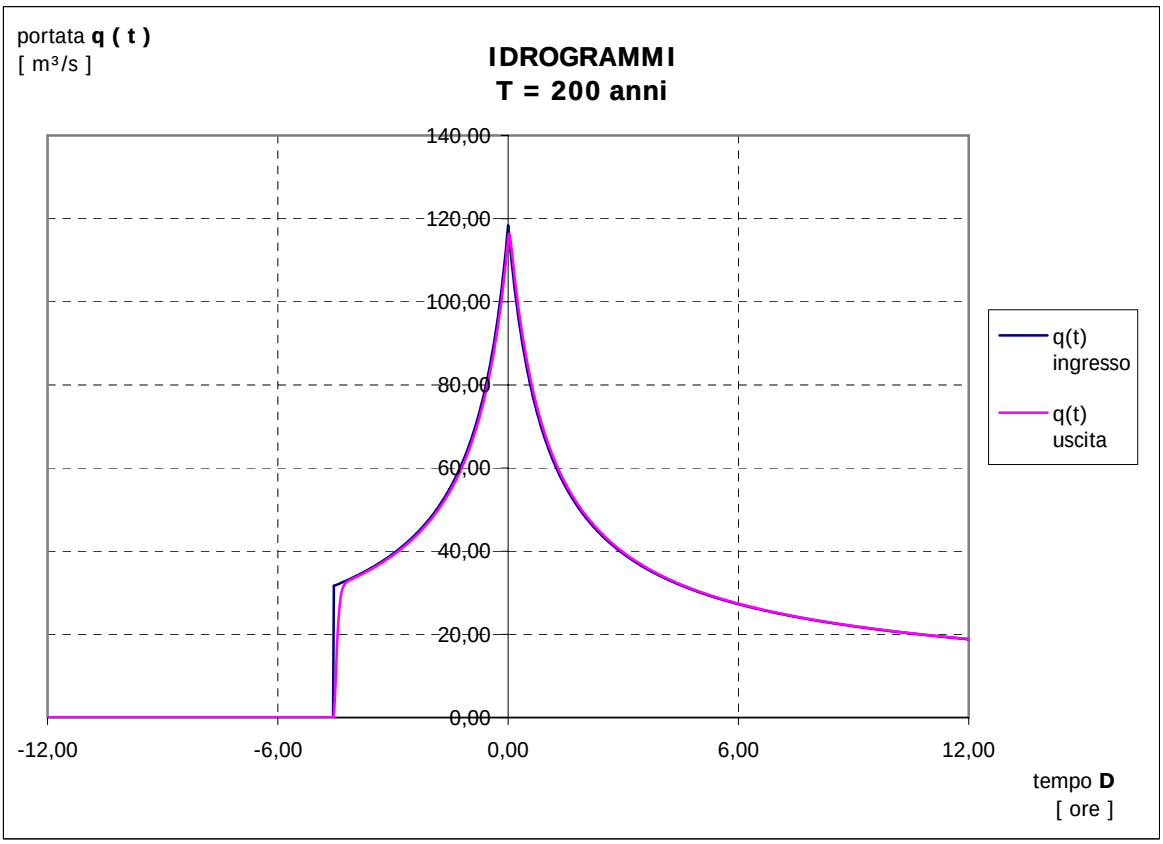




DIGA DI AGRASINA

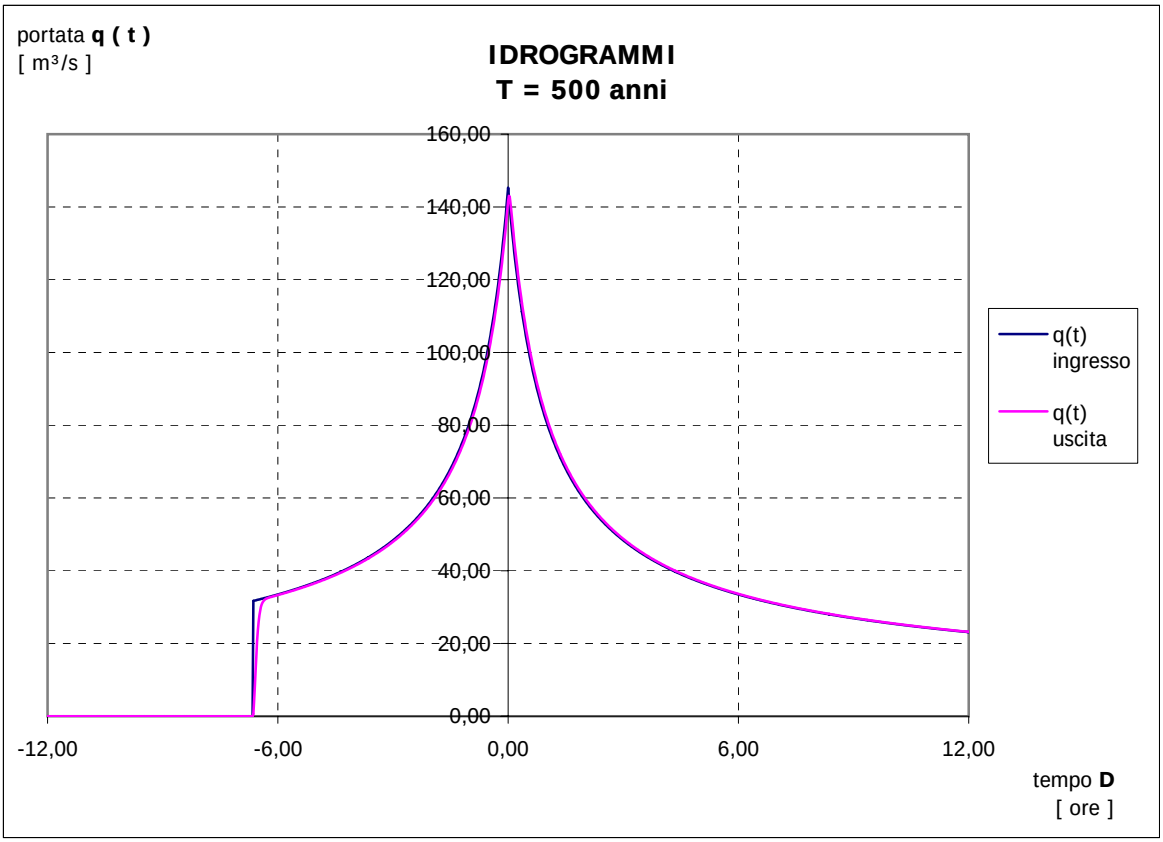
LAMINAZIONE - 3° SCARICO DI SUPERFICIE

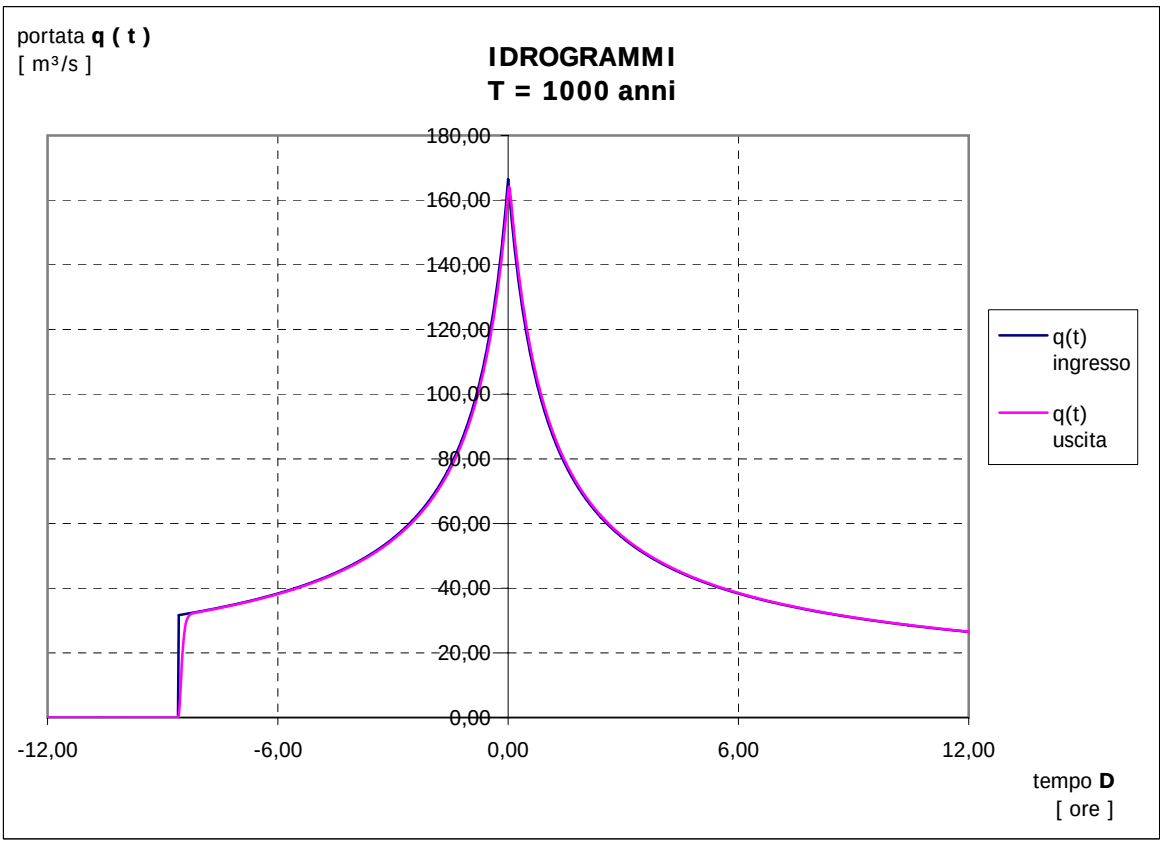




DIGA DI AGRASINA

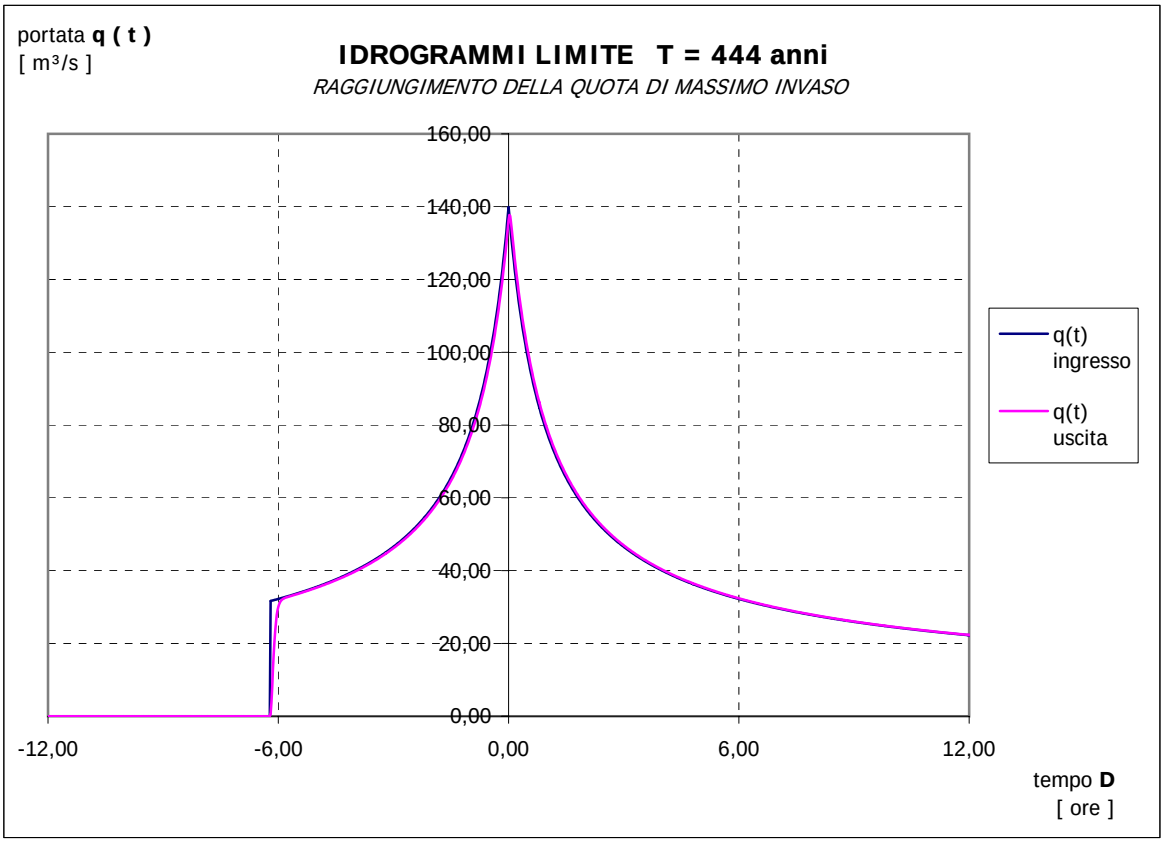
LAMINAZIONE - 3° SCARICO DI SUPERFICIE





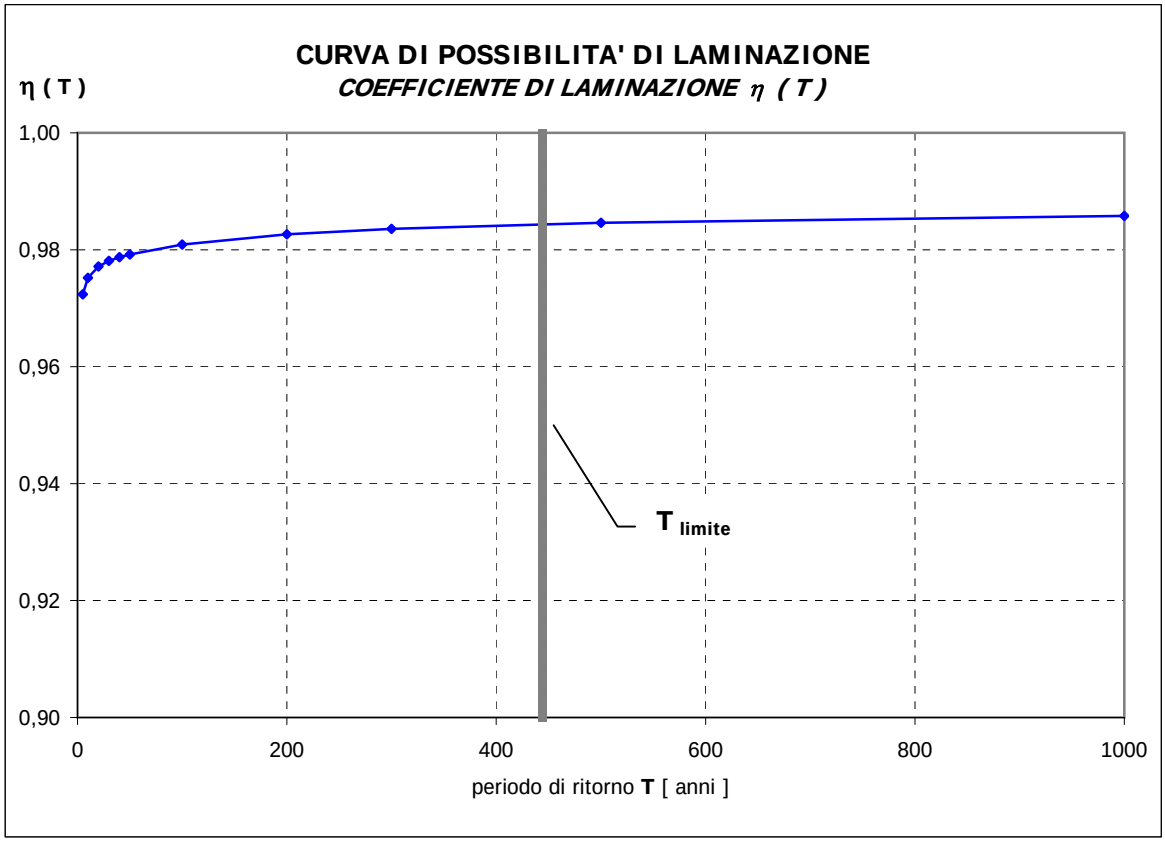
DIGA DI AGRASINA

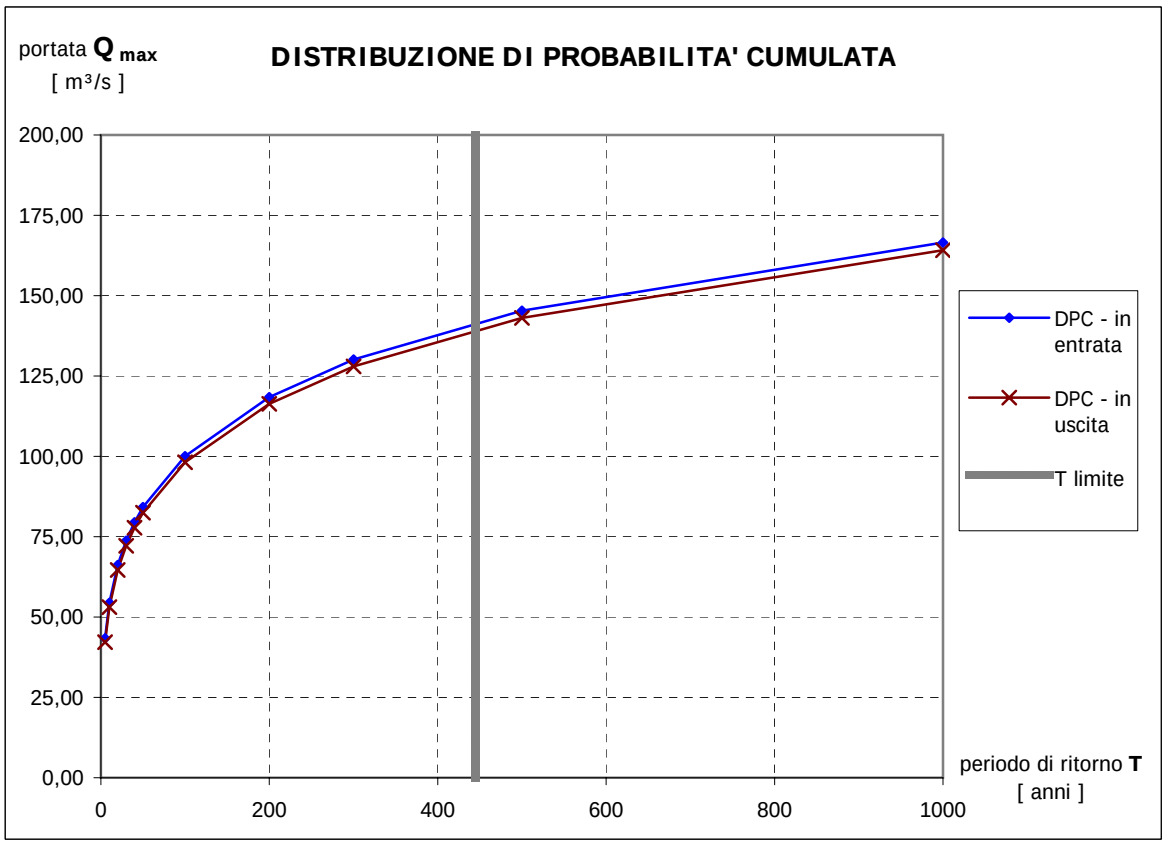
LAMINAZIONE - 3° SCARICO DI SUPERFICIE



DIGA DI AGRASINA

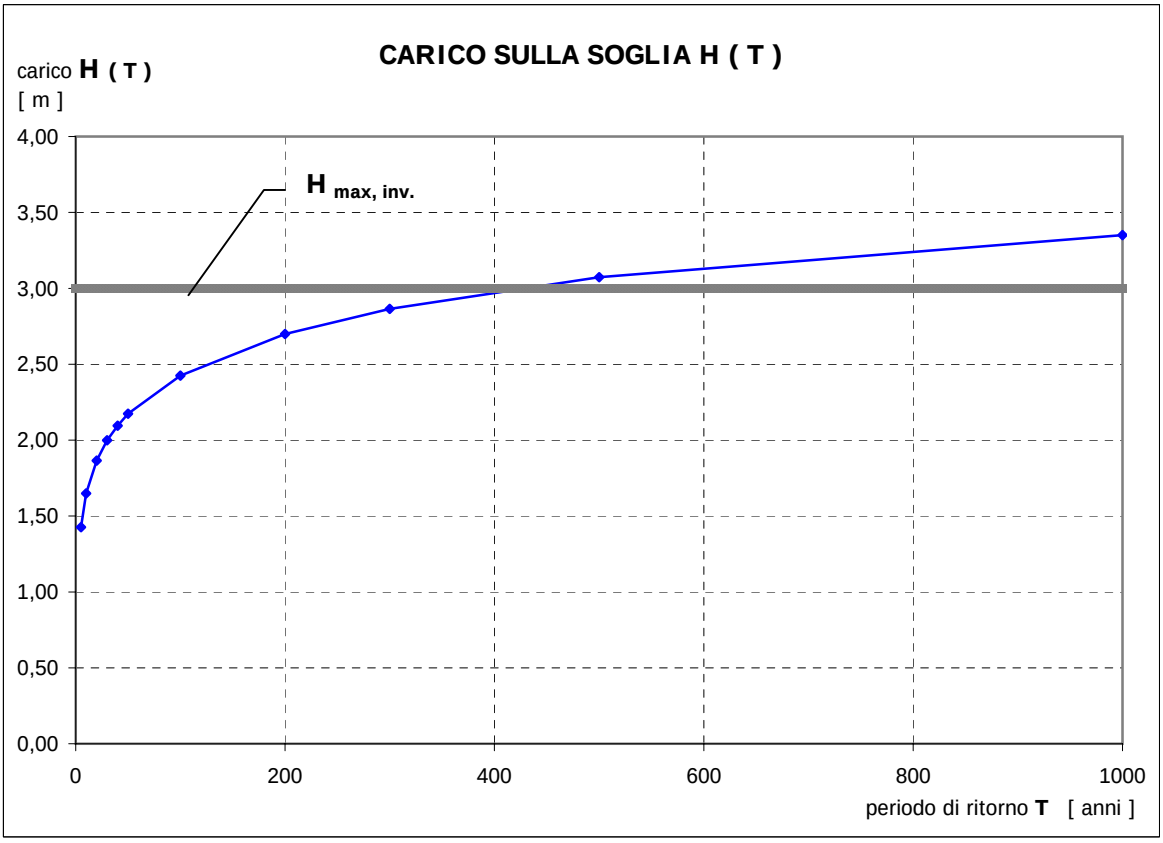
LAMINAZIONE - 3° SCARICO DI SUPERFICIE

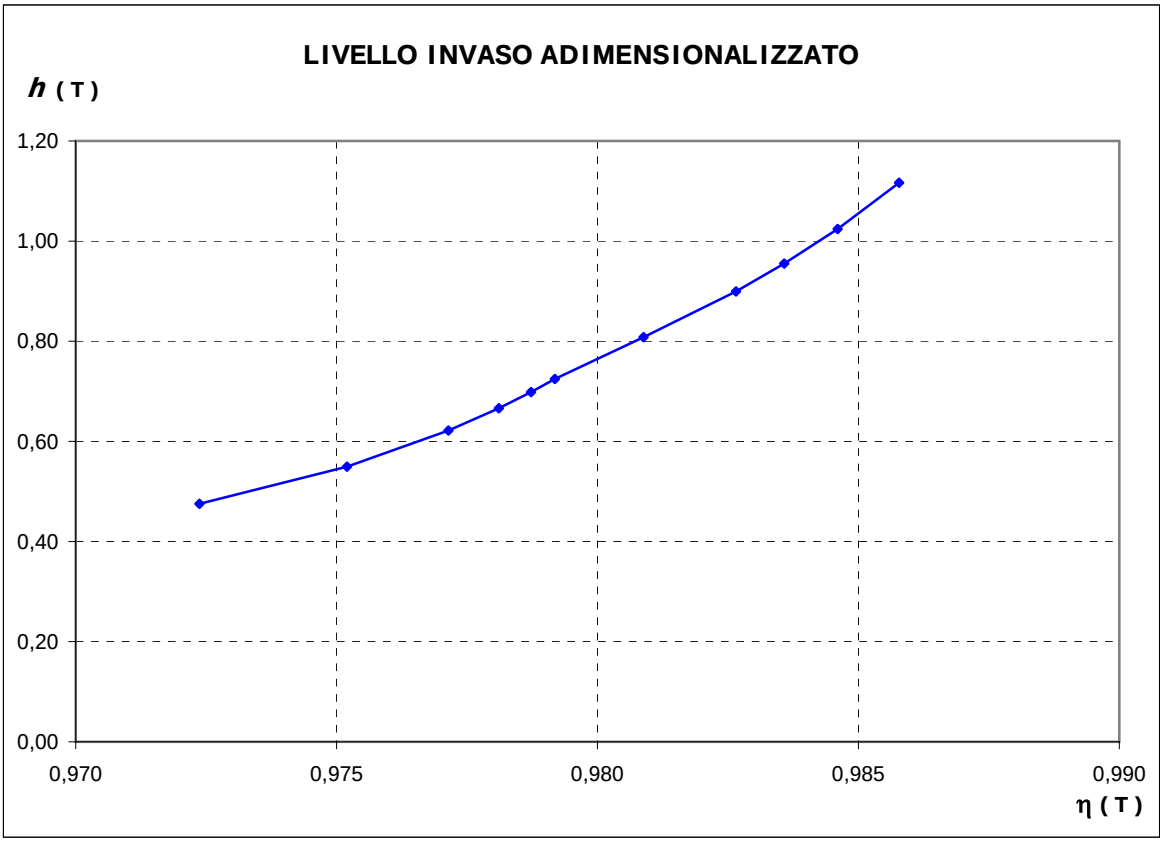




DIGA DI AGRASINA

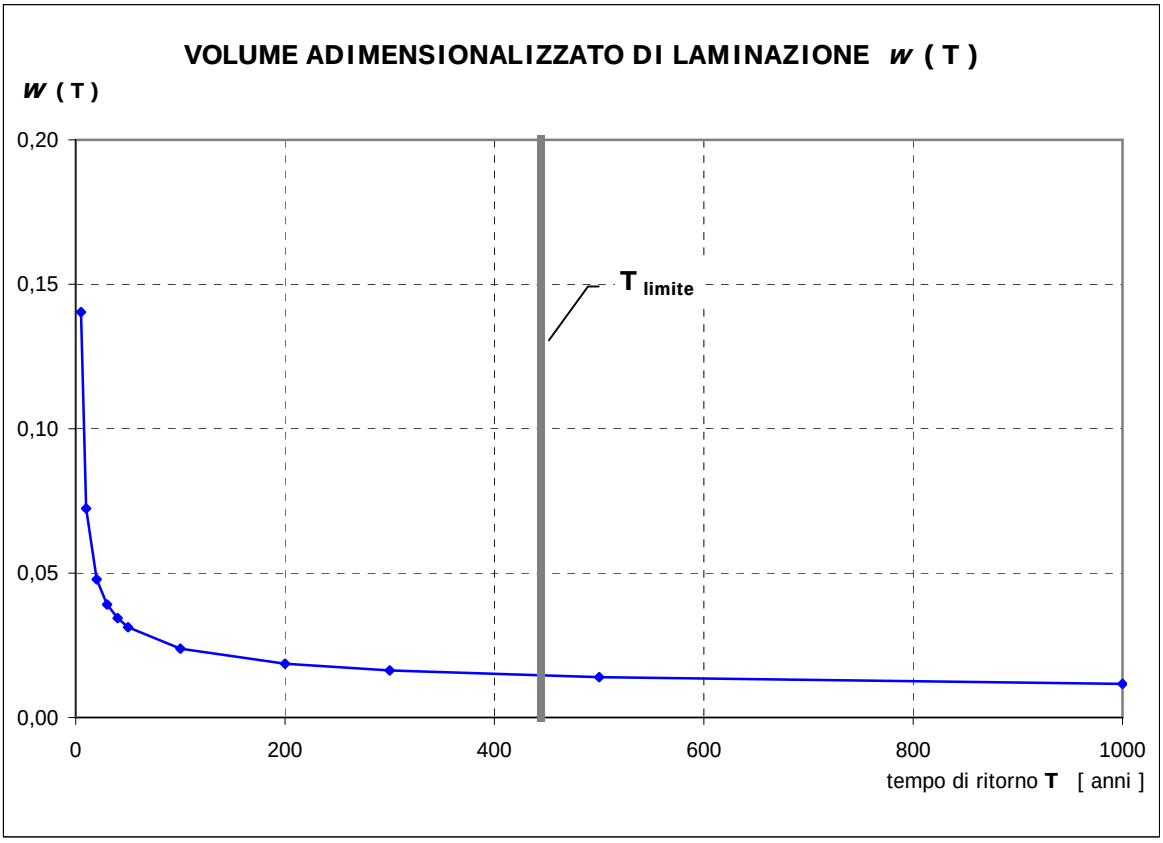
LAMINAZIONE - 3° SCARICO DI SUPERFICIE

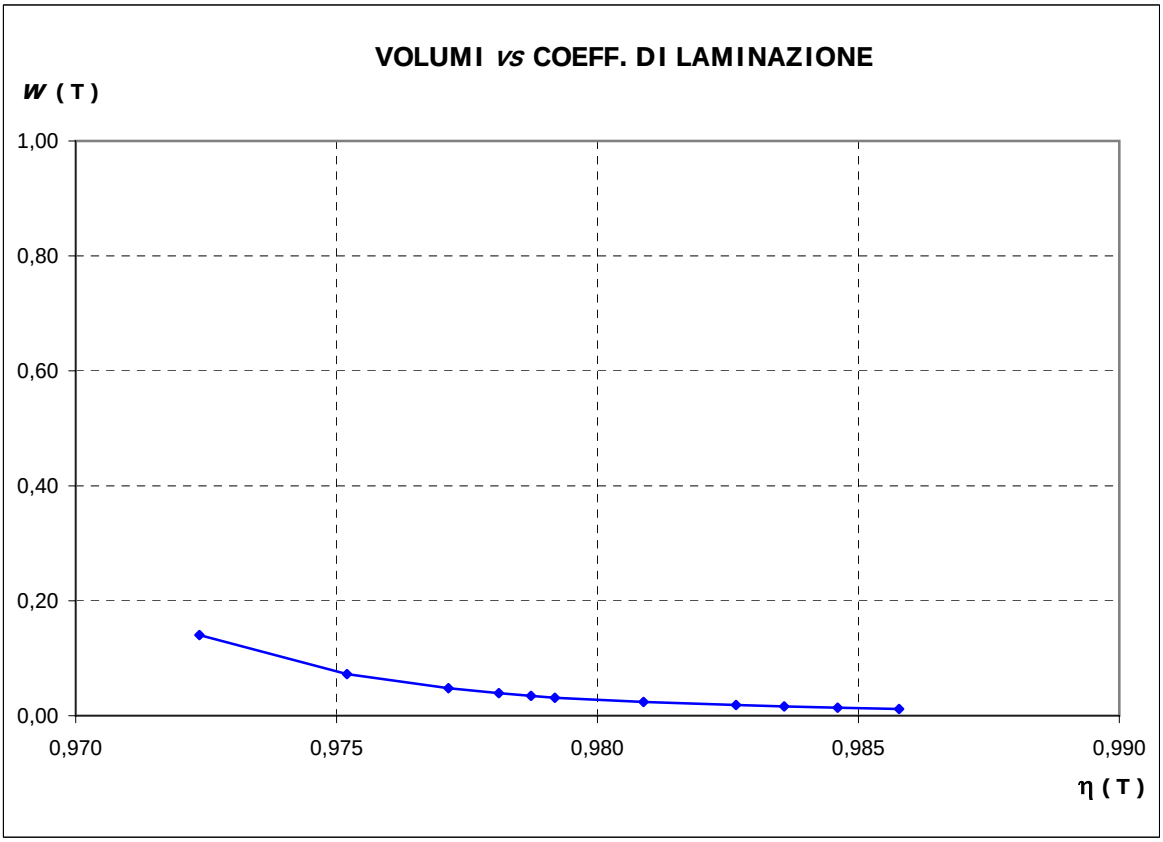




DIGA DI AGRASINA

LAMINAZIONE - 3° SCARICO DI SUPERFICIE





DIGA DI ALPE CAVALLI

LAMINAZIONE - 1° SCARICO DI SUPERFICIE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 29,03 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,28	37,16	11,23	0,302	0,53	100,2	234,9	2,345	0,212
10	1,81	52,55	19,60	0,373	0,77	380,2	340,8	0,896	0,307
20	2,65	76,94	37,98	0,494	1,19	1072,9	530,8	0,495	0,476
30	3,25	94,36	53,12	0,563	1,49	1766,0	664,7	0,376	0,595
40	3,69	107,14	63,96	0,597	1,68	2385,8	753,0	0,316	0,674
50	4,03	117,01	71,93	0,615	1,82	2931,9	814,9	0,278	0,728
100	5,09	147,78	94,85	0,642	2,19	5028,8	981,8	0,195	0,876
200	6,15	178,56	116,98	0,655	2,52	7754,6	1131,0	0,146	1,007
300	6,76	196,27	129,77	0,661	2,70	9622,3	1213,2	0,126	1,079
500	7,54	218,92	146,34	0,668	2,92	12341,7	1315,8	0,107	1,169
1000	8,59	249,40	169,04	0,678	3,22	16606,3	1450,8	0,087	1,287
193	*6,09*	*176,77*	*115,76*	*0,655*	*2,50*	*7578,9*	*1123,0*	*0,148*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,56 #

area totale del bacino **A** = 23,74 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,35 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 1,253 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,399 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,44 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1476,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1500,00 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 8,670 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 0,157 Mm³

esponente **m1** = 1,262 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 1497,50 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 7,54 Mm³

carico massimo sulla soglia: 2,50 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 29,231 m³/s

esponente **n1** = 1,502 #

PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

portata al colmo Q_T = **176,77** m³ / s

fattore di crescita K_T = 6,09

tempo di ritorno stimato **T** = 193 anni

DIGA DI ALPE CAVALLI

LAMINAZIONE - 2° SCARICO DI SUPERFICIE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 29,03 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,28	37,16	11,35	0,305	0,53	100,2	231,7	2,314	0,128
10	1,81	52,55	19,83	0,377	0,77	380,2	336,5	0,885	0,186
20	2,65	76,94	38,43	0,500	1,20	1072,9	524,2	0,489	0,289
30	3,25	94,36	53,65	0,569	1,50	1766,0	655,8	0,371	0,361
40	3,69	107,14	64,50	0,602	1,69	2385,8	742,2	0,311	0,408
50	4,03	117,01	72,46	0,619	1,83	2931,9	802,7	0,274	0,441
100	5,09	147,78	95,38	0,645	2,20	5028,8	966,1	0,192	0,530
200	6,15	178,56	117,59	0,659	2,53	7754,6	1112,8	0,144	0,609
300	6,76	196,27	130,44	0,665	2,71	9622,3	1193,7	0,124	0,652
500	7,54	218,92	147,08	0,672	2,93	12341,7	1294,8	0,105	0,707
1000	8,59	249,40	169,86	0,681	3,23	16606,3	1427,6	0,086	0,778
2031	*9,47*	*274,85*	*187,77*	*0,683*	*3,45*	*20714,2*	*1528,2*	*0,074*	*0,831*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,56 #

area totale del bacino **A** = 23,74 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,35 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 1,253 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,399 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,44 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1476,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1500,00 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 8,670 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 0,157 Mm³

esponente **m1** = 1,262 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 1495,85 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 6,82 Mm³

carico massimo sulla soglia: 4,15 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 29,231 m³/s

esponente **n1** = 1,502 #

quota soglia scarico di superficie funz. battente: 1499,30 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 8,35 Mm³

carico massimo sulla soglia: 0,70 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 29,231 m³/s

esponente **n1** = 1,502 #

PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

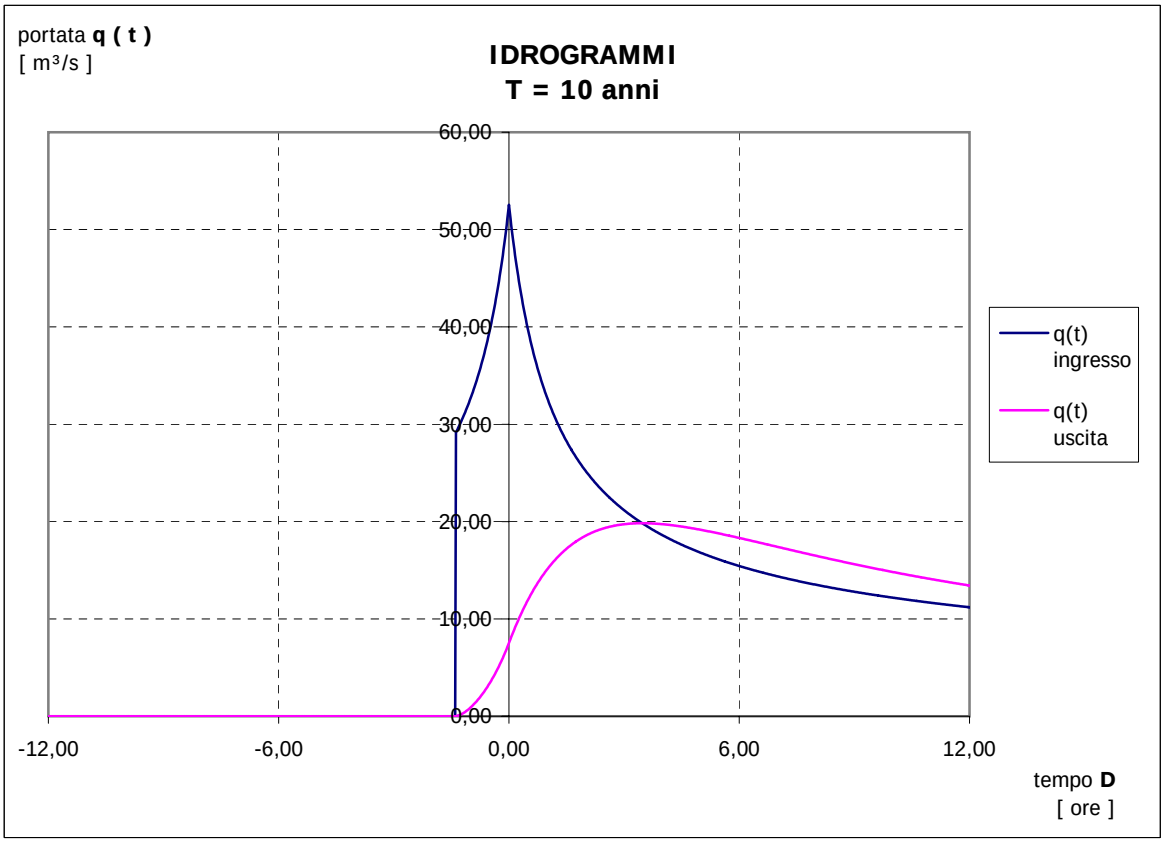
portata al colmo Q_T = **274,85** m³ / s

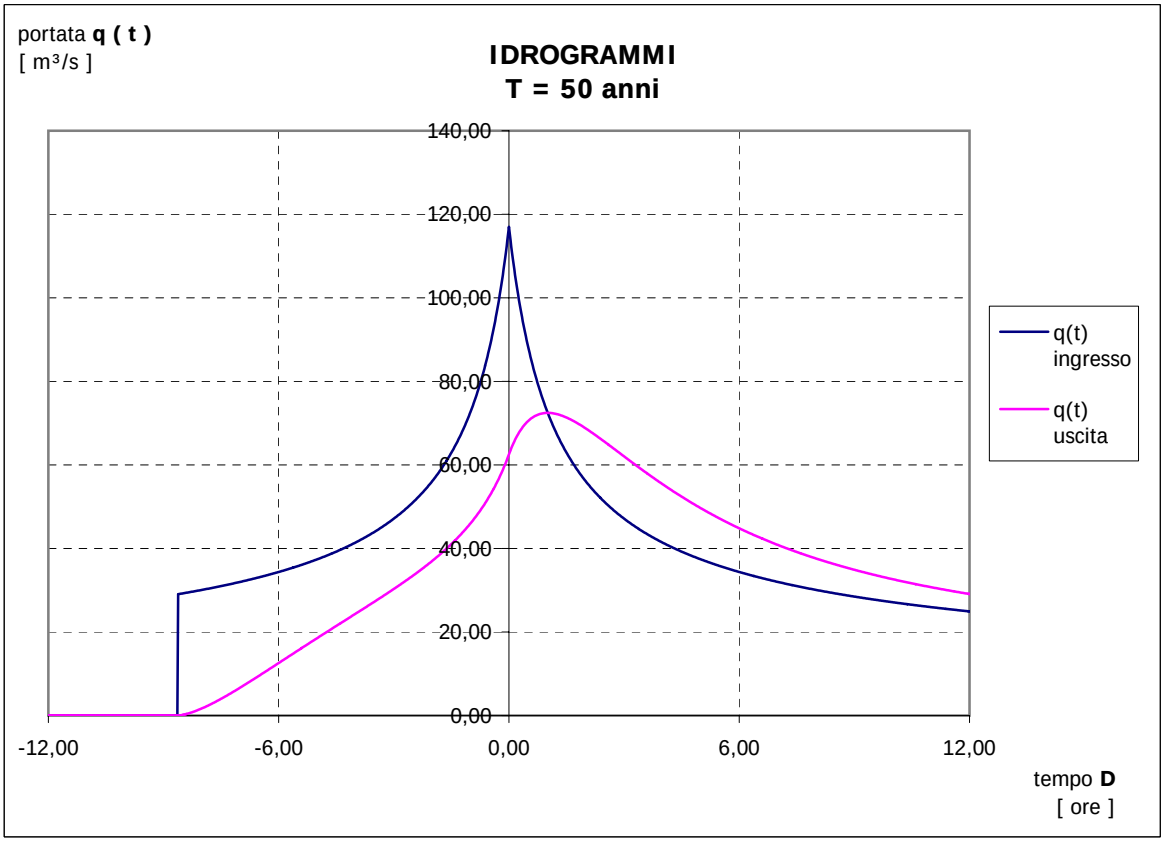
fattore di crescita K_T = 9,47

tempo di ritorno stimato **T** = 2031 anni

DIGA DI ALPE CAVALLI

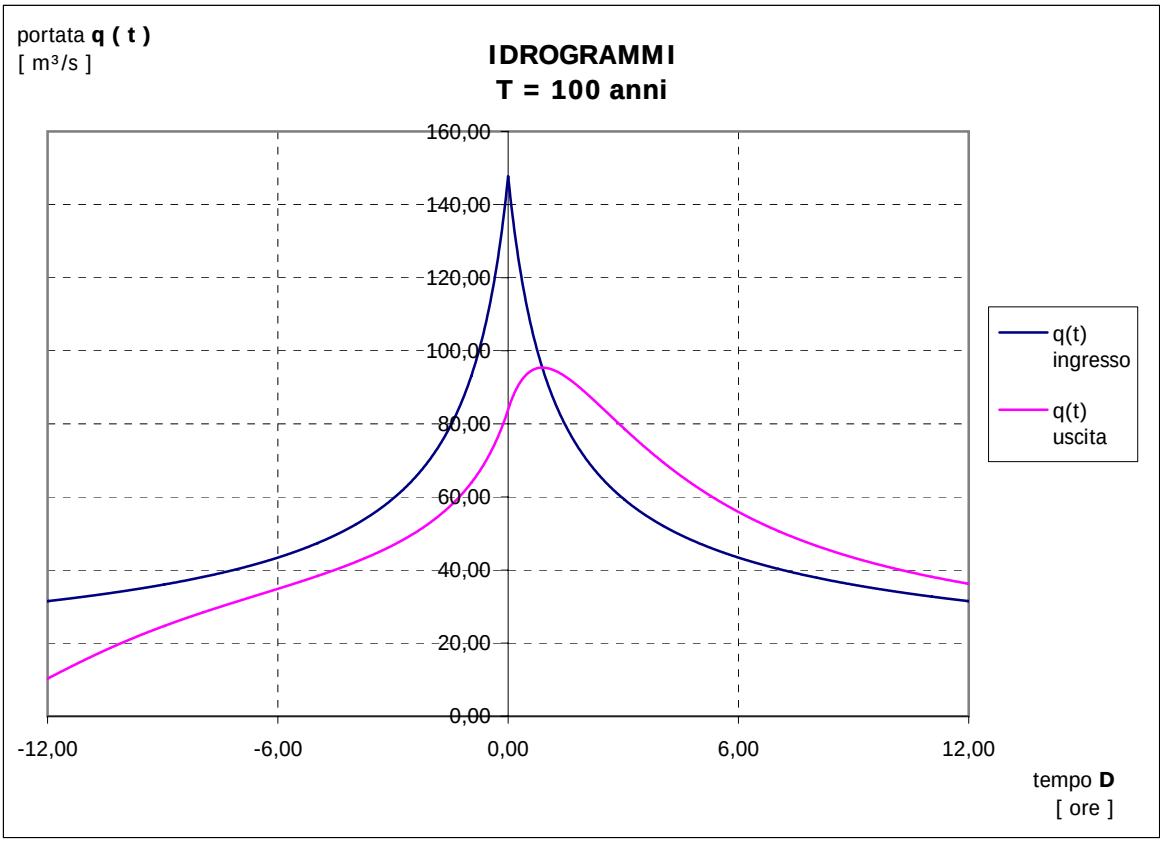
LAMINAZIONE - 2° SCARICO DI SUPERFICIE

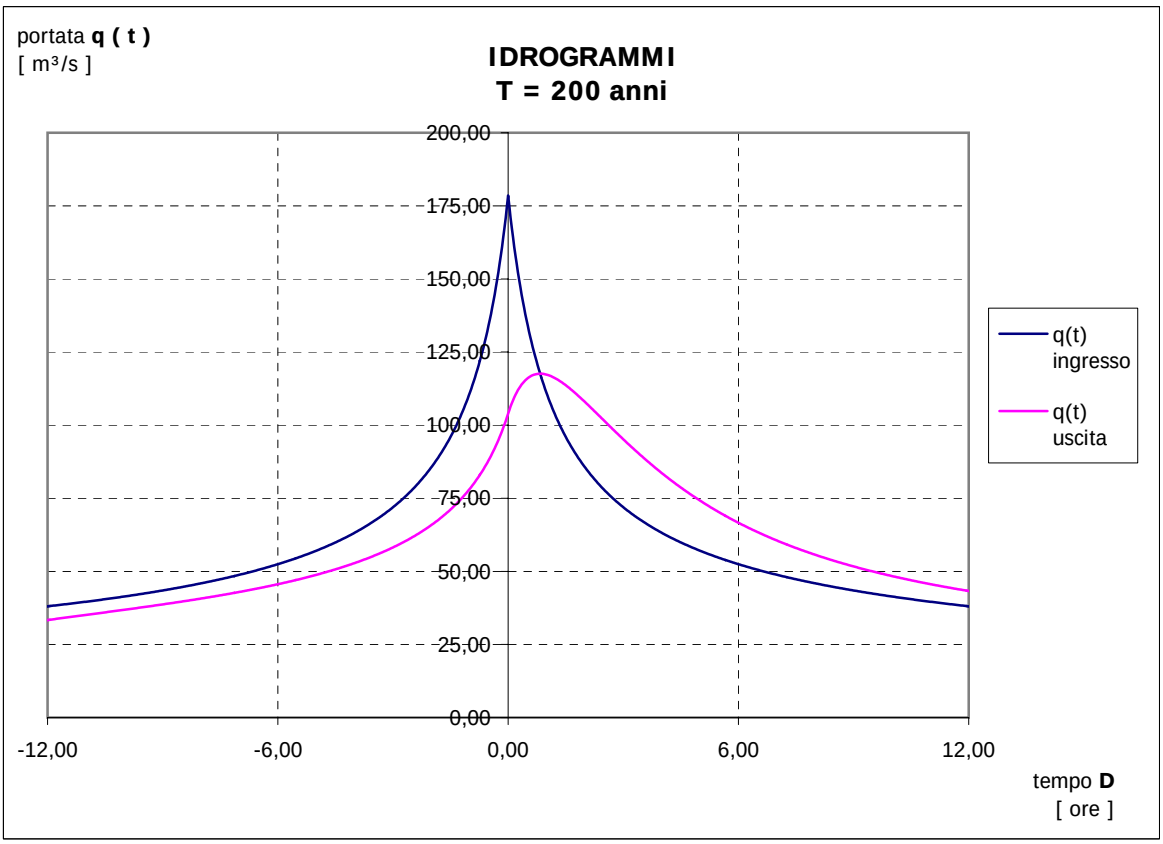




DIGA DI ALPE CAVALLI

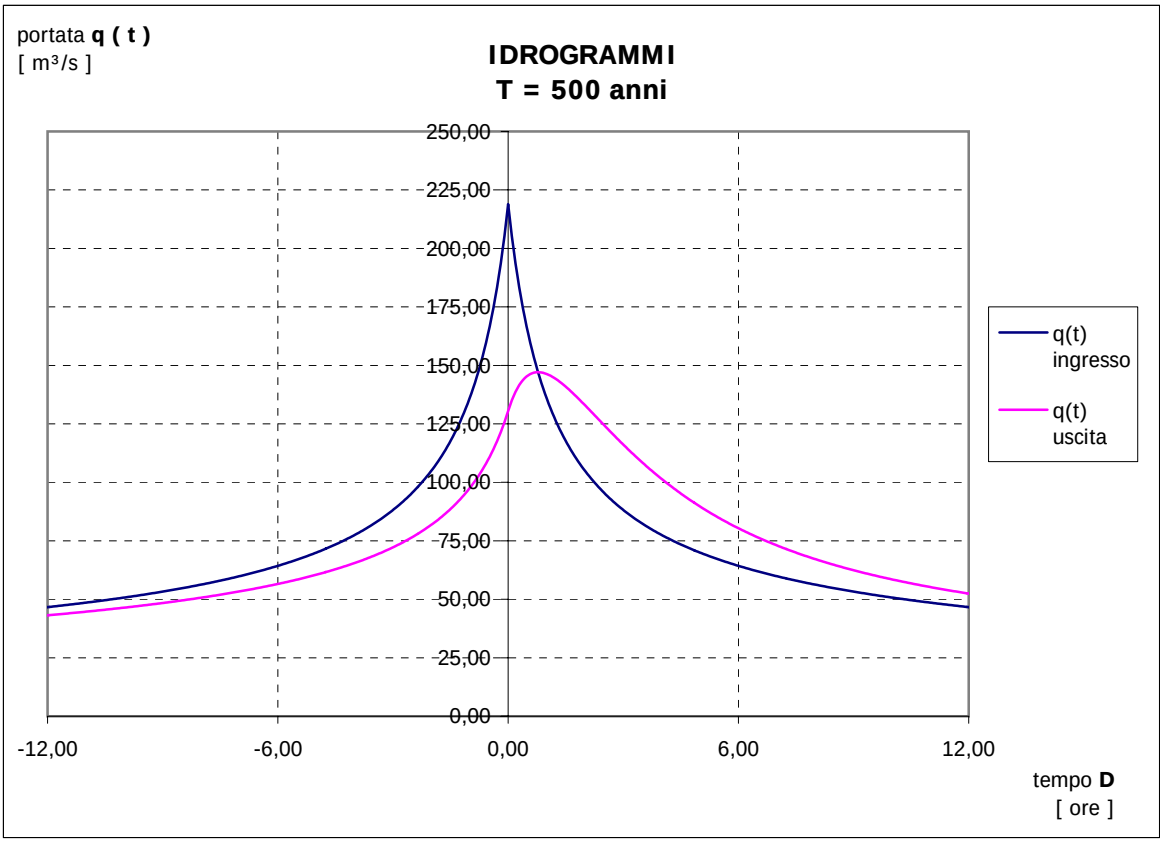
LAMINAZIONE - 2° SCARICO DI SUPERFICIE

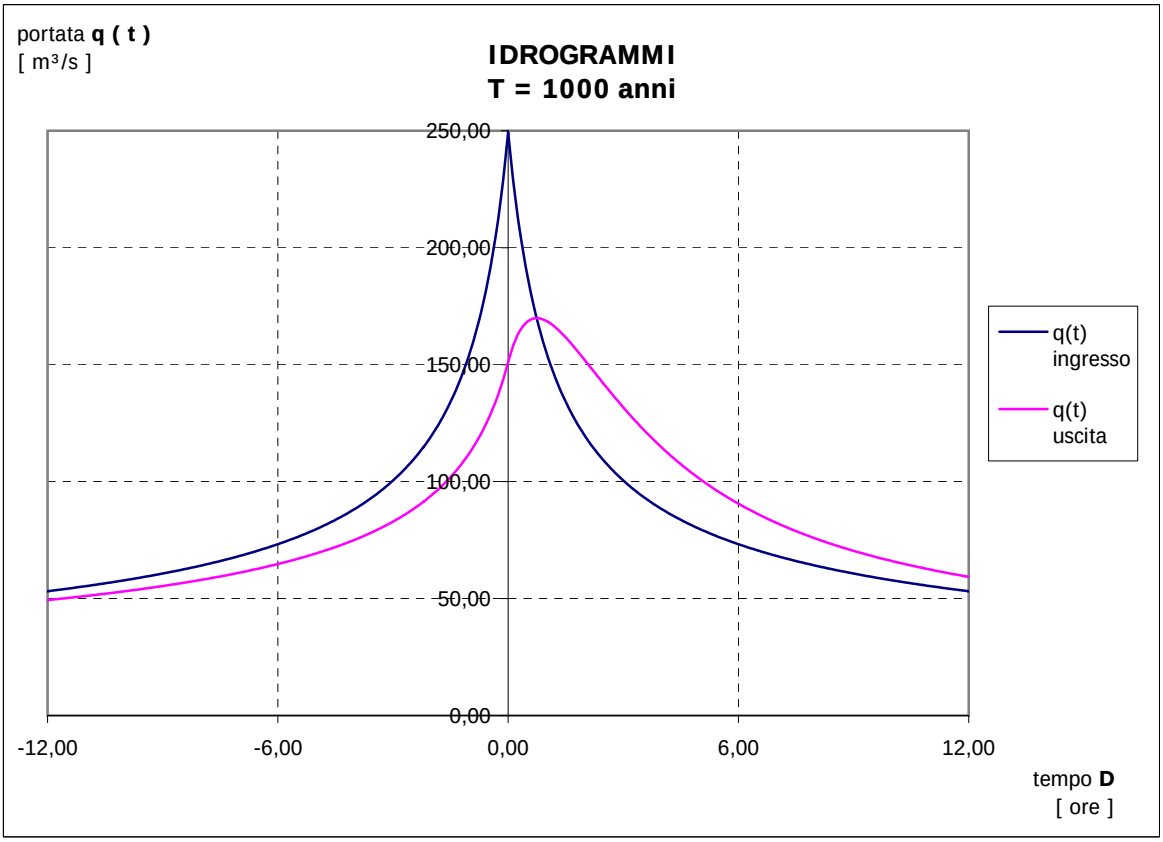




DIGA DI ALPE CAVALLI

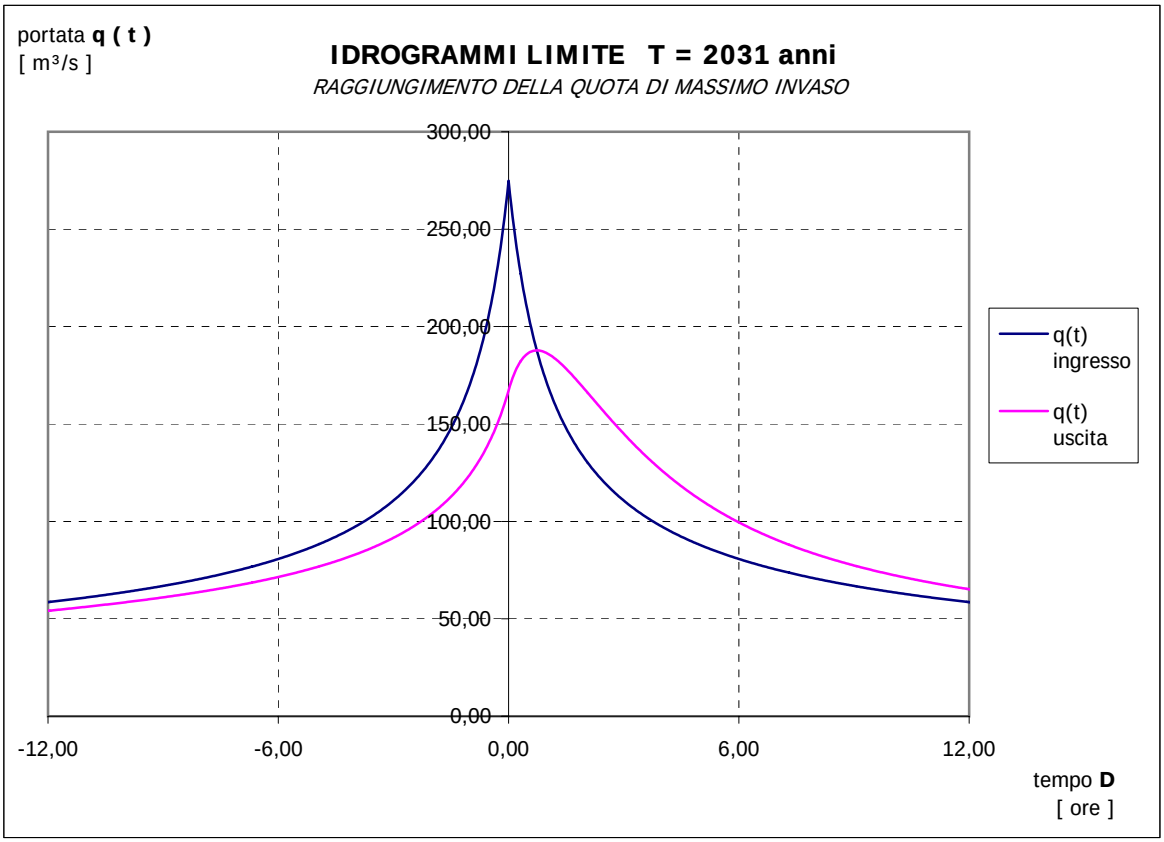
LAMINAZIONE - 2° SCARICO DI SUPERFICIE





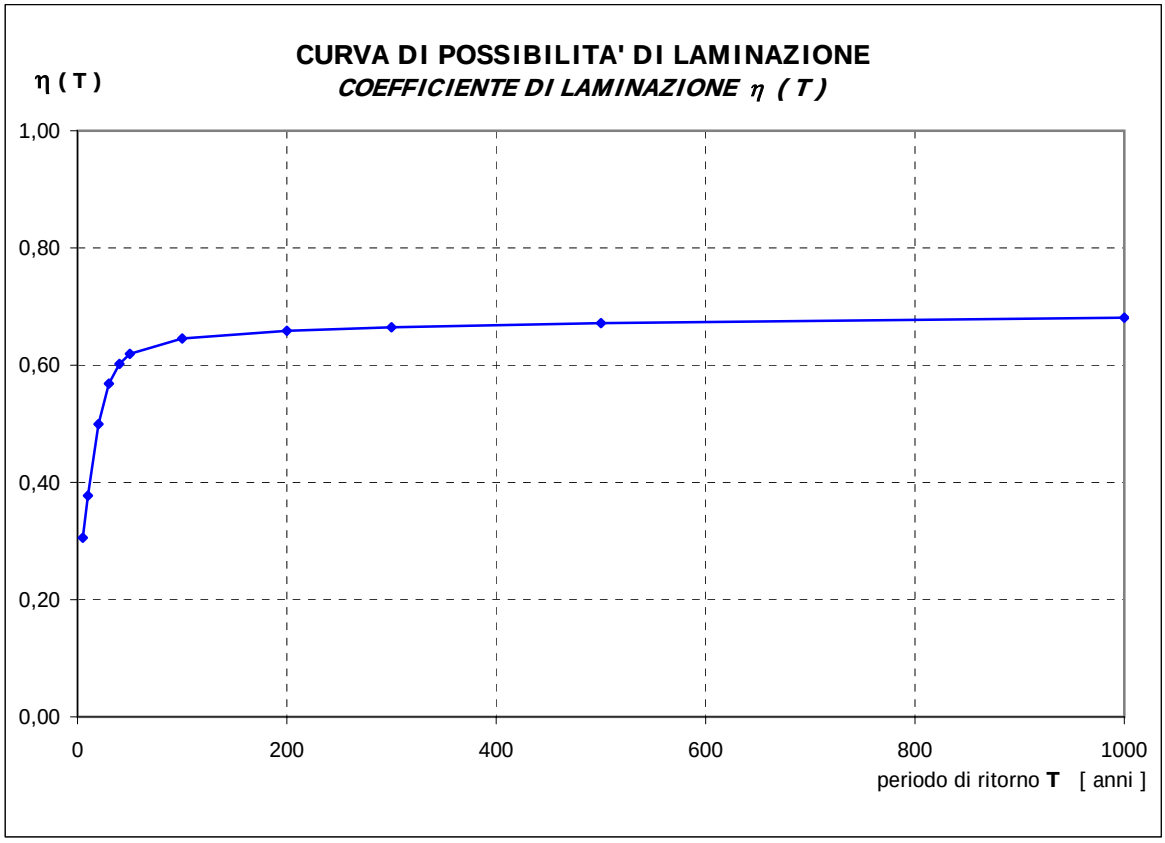
DIGA DI ALPE CAVALLI

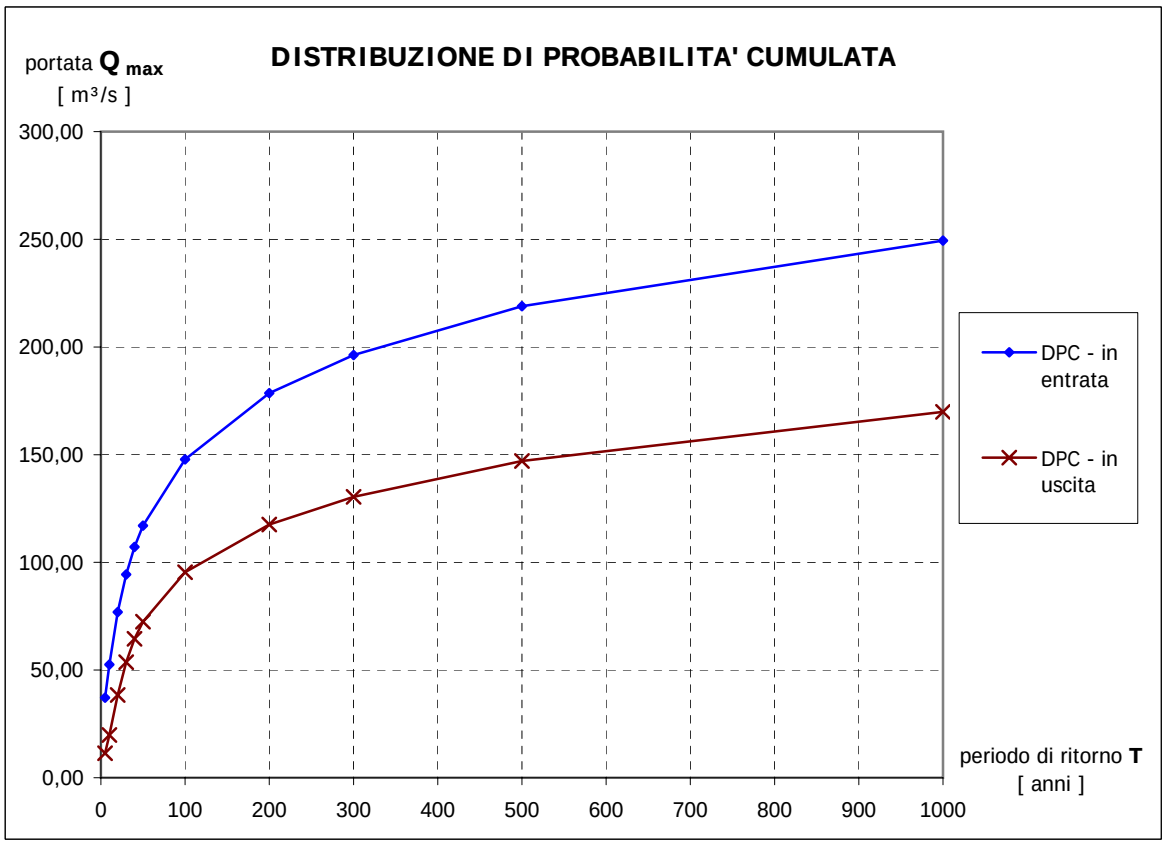
LAMINAZIONE - 2° SCARICO DI SUPERFICIE



DIGA DI ALPE CAVALLI

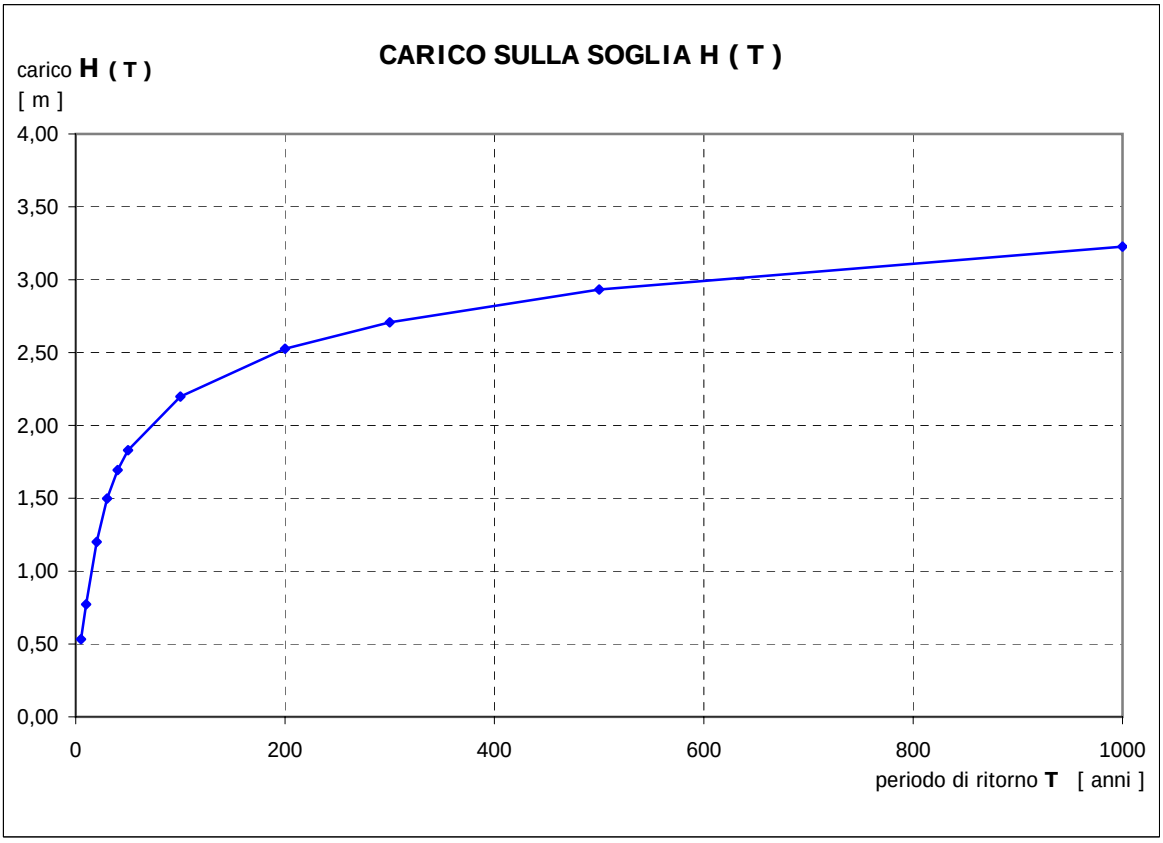
LAMINAZIONE - 2° SCARICO DI SUPERFICIE

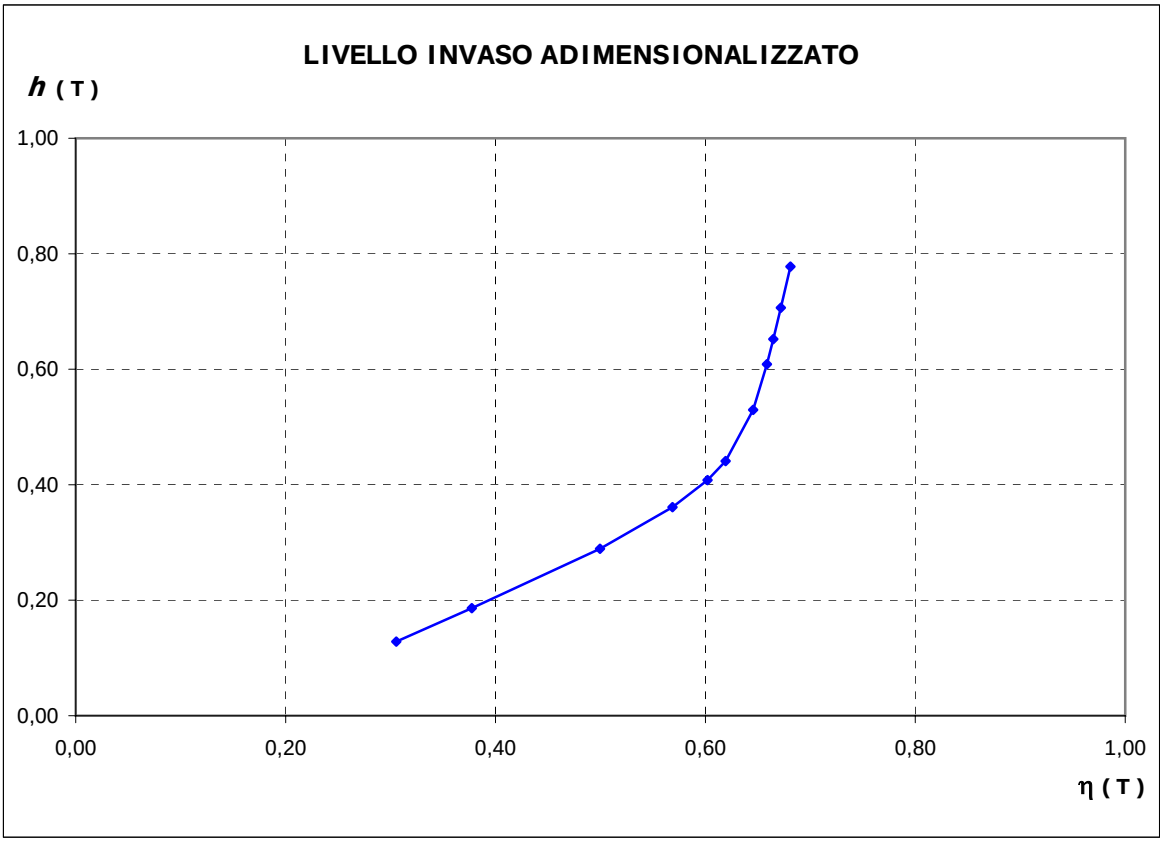




DIGA DI ALPE CAVALLI

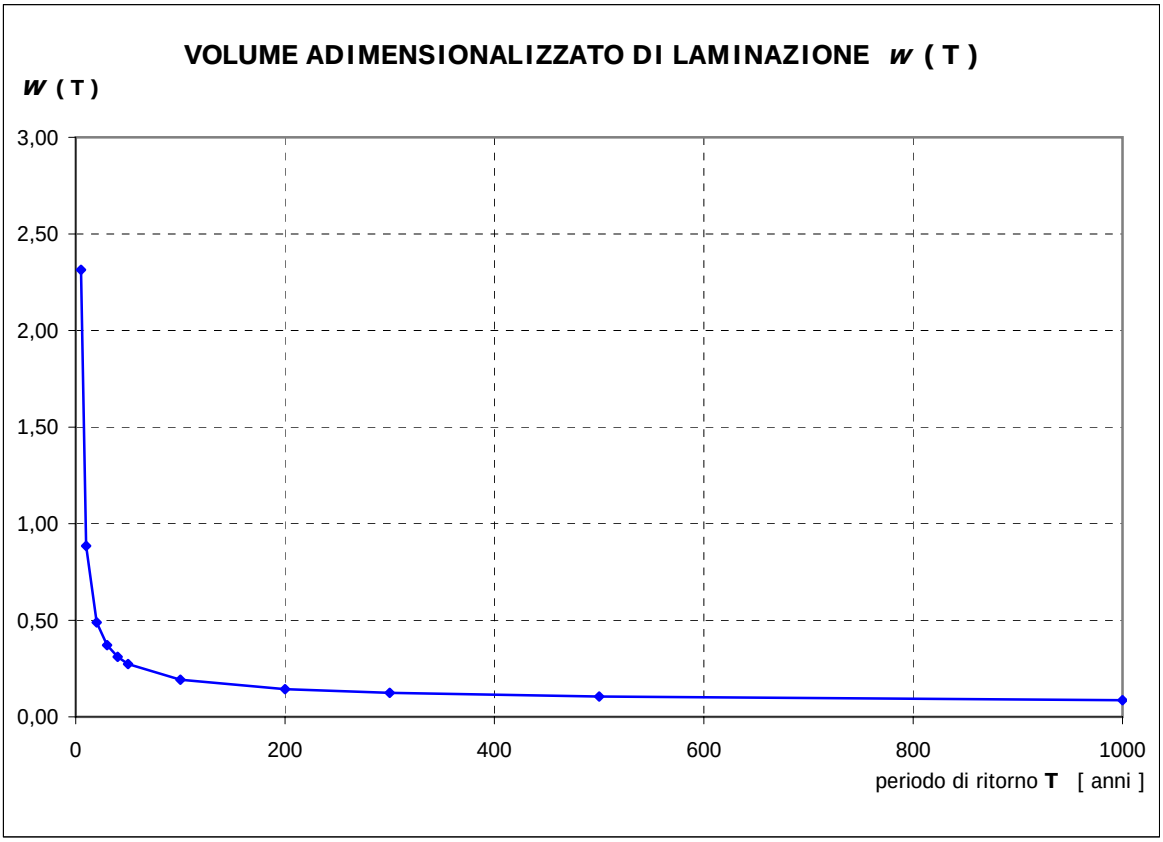
LAMINAZIONE - 2° SCARICO DI SUPERFICIE

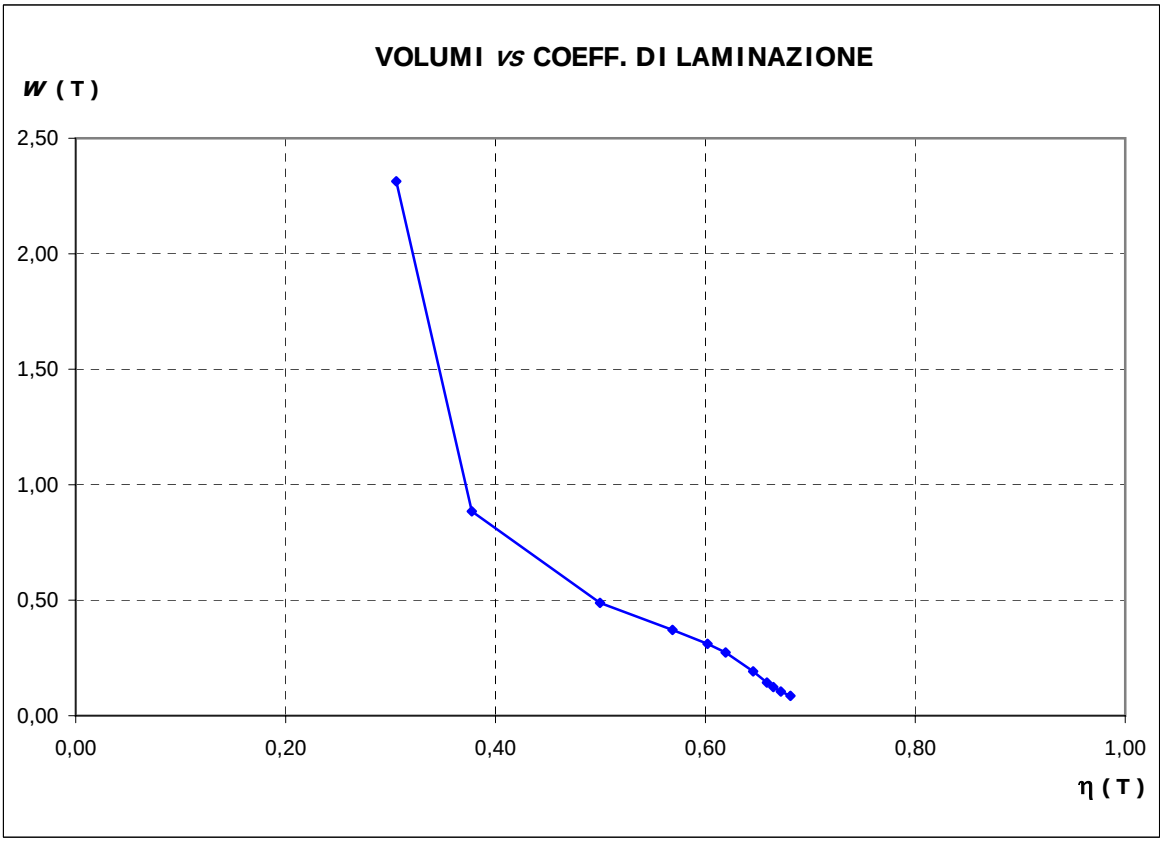




DIGA DI ALPE CAVALLI

LAMINAZIONE - 2° SCARICO DI SUPERFICIE





DIGA DI ALPE LARECCHIO

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 6,9 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,37	9,45	1,96	0,208	0,10	10,4	26,6	2,556	0,109
10	1,72	11,87	2,79	0,235	0,12	23,5	33,8	1,436	0,138
20	2,09	14,42	3,81	0,264	0,15	40,6	41,8	1,030	0,170
30	2,33	16,08	4,57	0,284	0,17	53,3	47,3	0,887	0,193
40	2,51	17,32	5,18	0,299	0,19	63,8	51,5	0,807	0,209
50	2,66	18,35	5,70	0,311	0,20	73,1	55,0	0,752	0,223
100	3,16	21,80	7,63	0,350	0,25	107,7	67,1	0,623	0,272
200	3,74	25,81	10,16	0,394	0,30	154,9	81,6	0,527	0,331
300	4,11	28,36	11,86	0,418	0,33	189,0	90,7	0,480	0,367
500	4,59	31,67	14,13	0,446	0,37	237,8	102,2	0,430	0,413
1000	5,26	36,29	17,27	0,476	0,43	314,7	117,4	0,373	0,473
>2000	*13,43*	*92,66*	*52,08*	*0,562*	*0,90*	*2078,0*	*252,1*	*0,121*	*0,999*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,5 #

area totale del bacino **A** = 3,02 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,30 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,464 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 1,077 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,5 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1806,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1836,50 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 2,790 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 5,490E-05 Mm³

esponente **m1** = 3,170 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 1835,60 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 2,53 Mm³

carico massimo sulla soglia: 0,90 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 60,894 m³/s

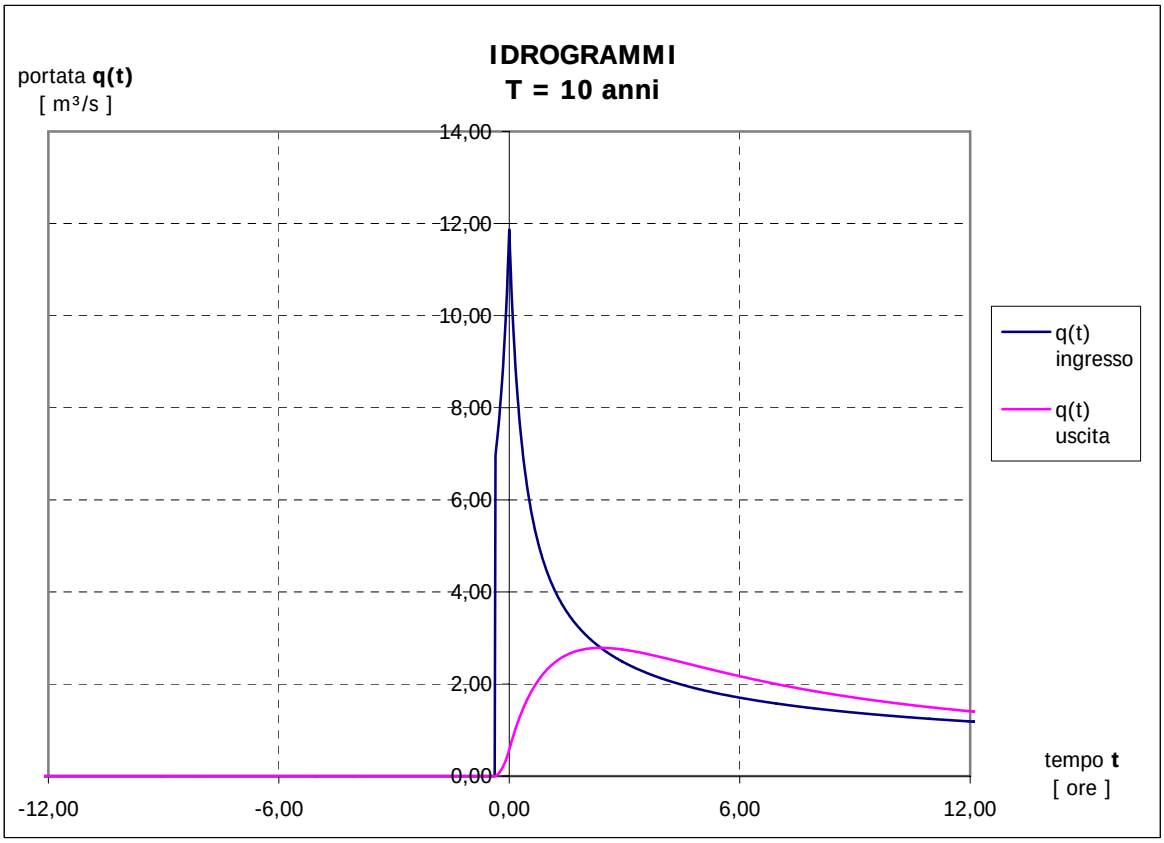
esponente **n1** = 1,477 #

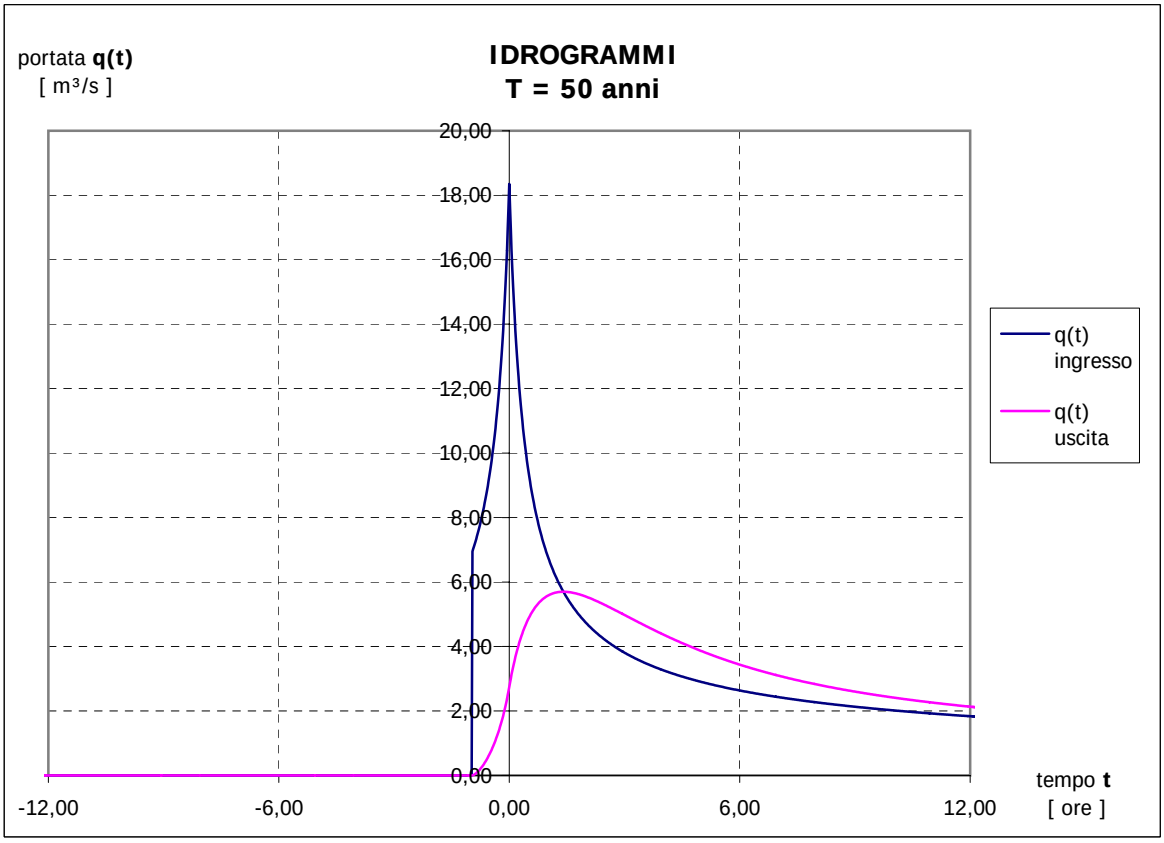
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

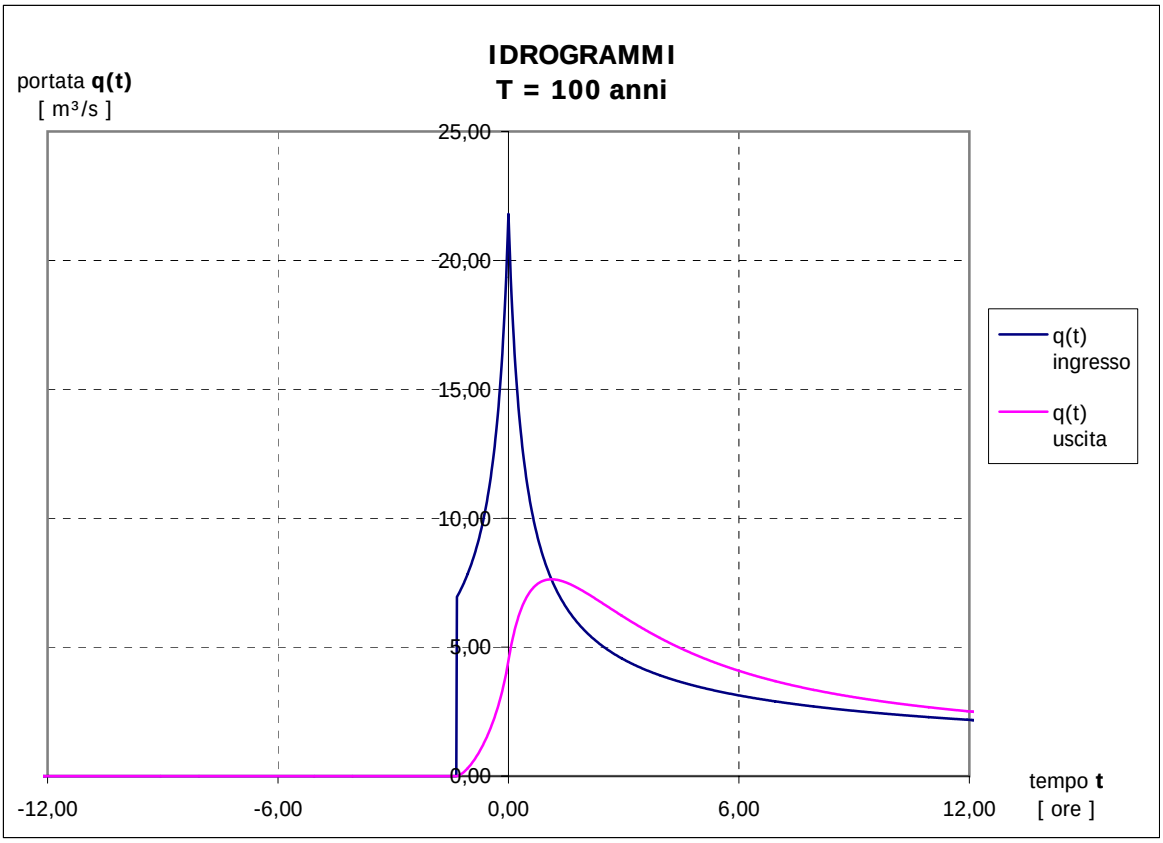
portata al colmo Q_T = **92,66** m³ / s

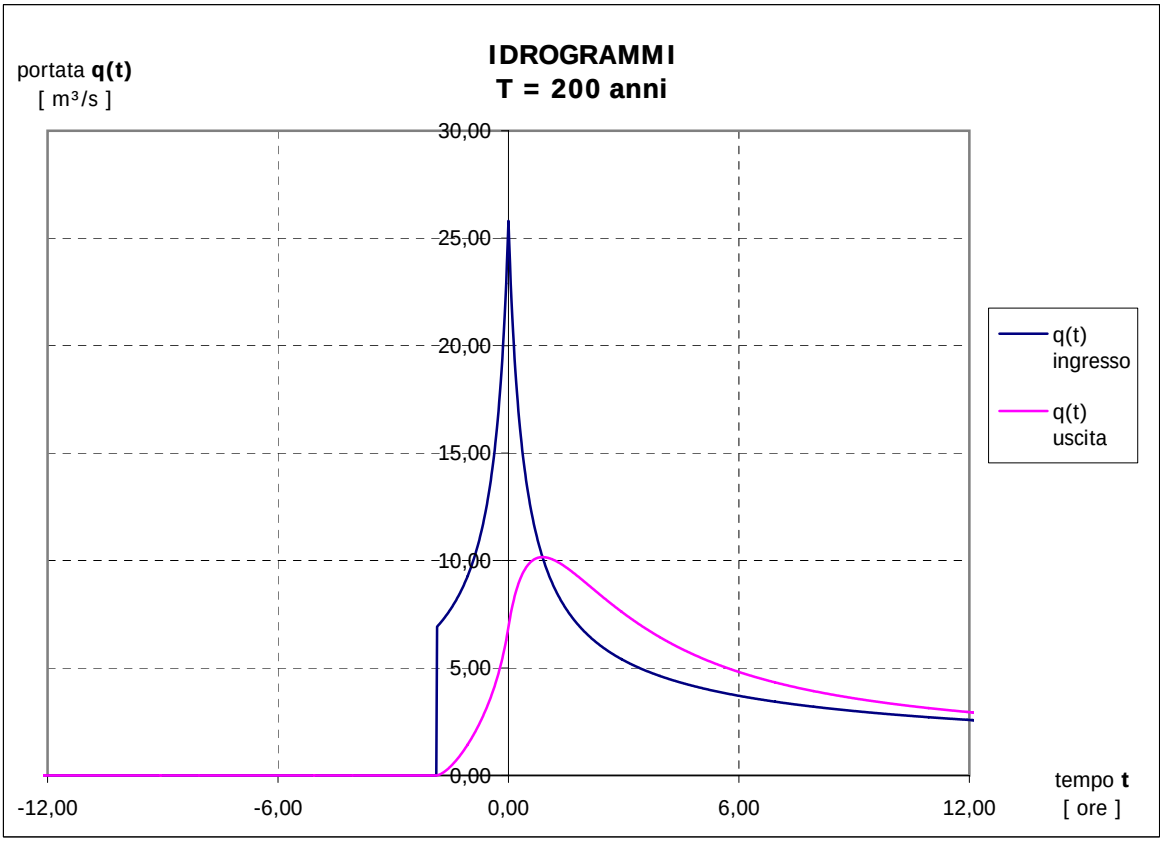
fattore di crescita K_T = 13,43

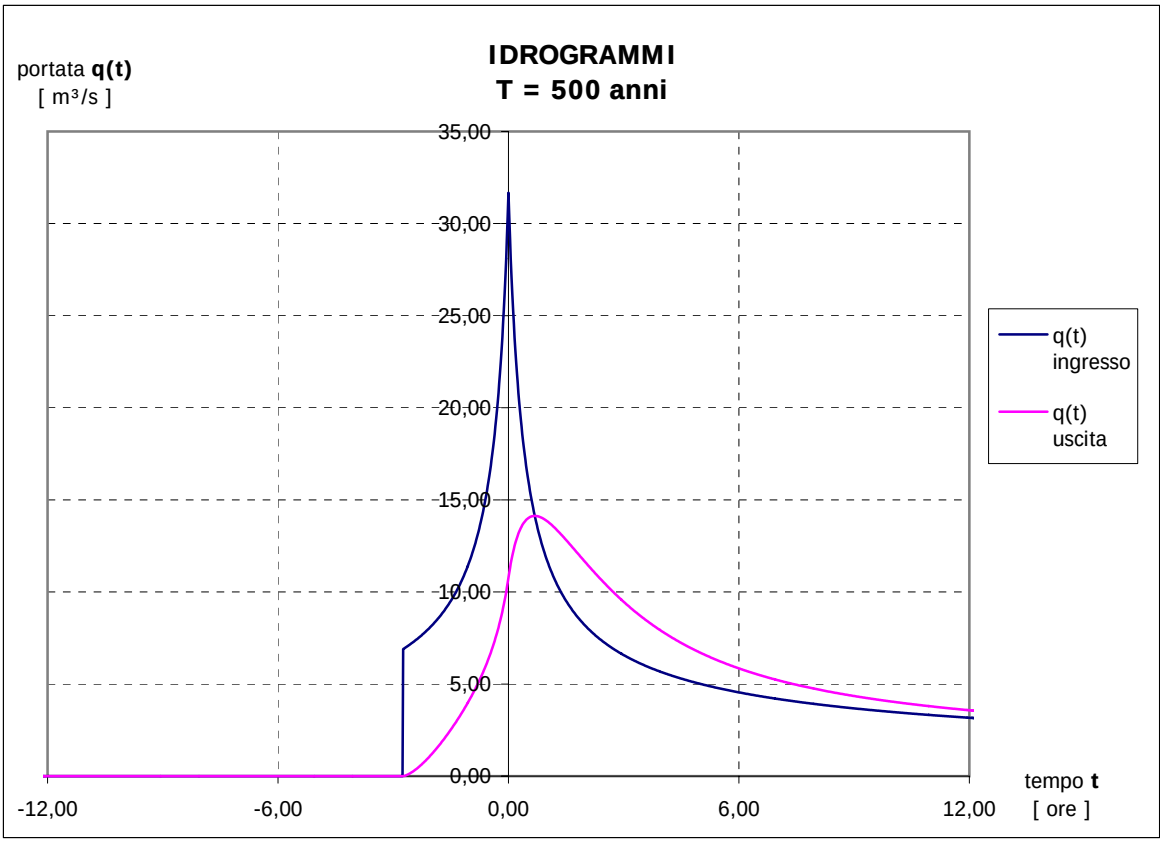
tempo di ritorno stimato **T** = >2000 anni

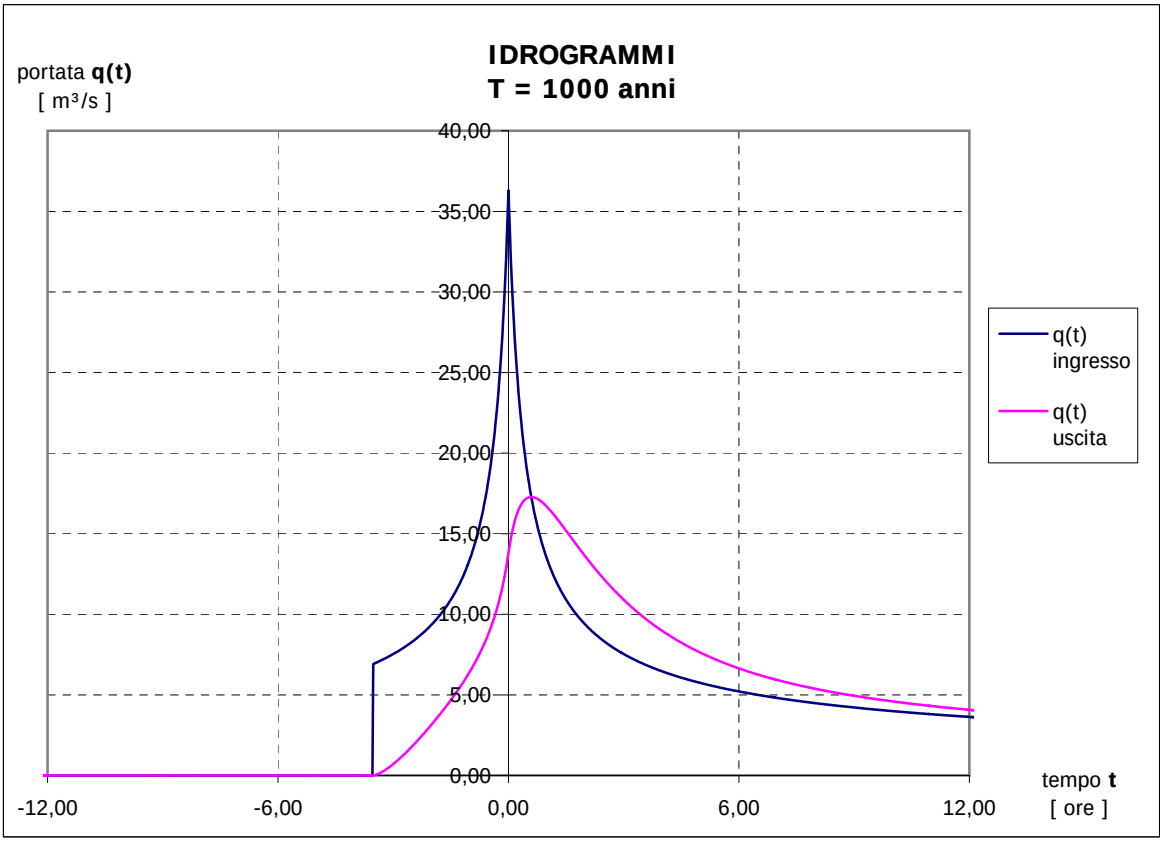

IDROGRAMMI
T = 10 anni
portata q(t)
[m³/s]
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


IDROGRAMMI
T = 50 anni
portata q(t)
[m³/s]
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

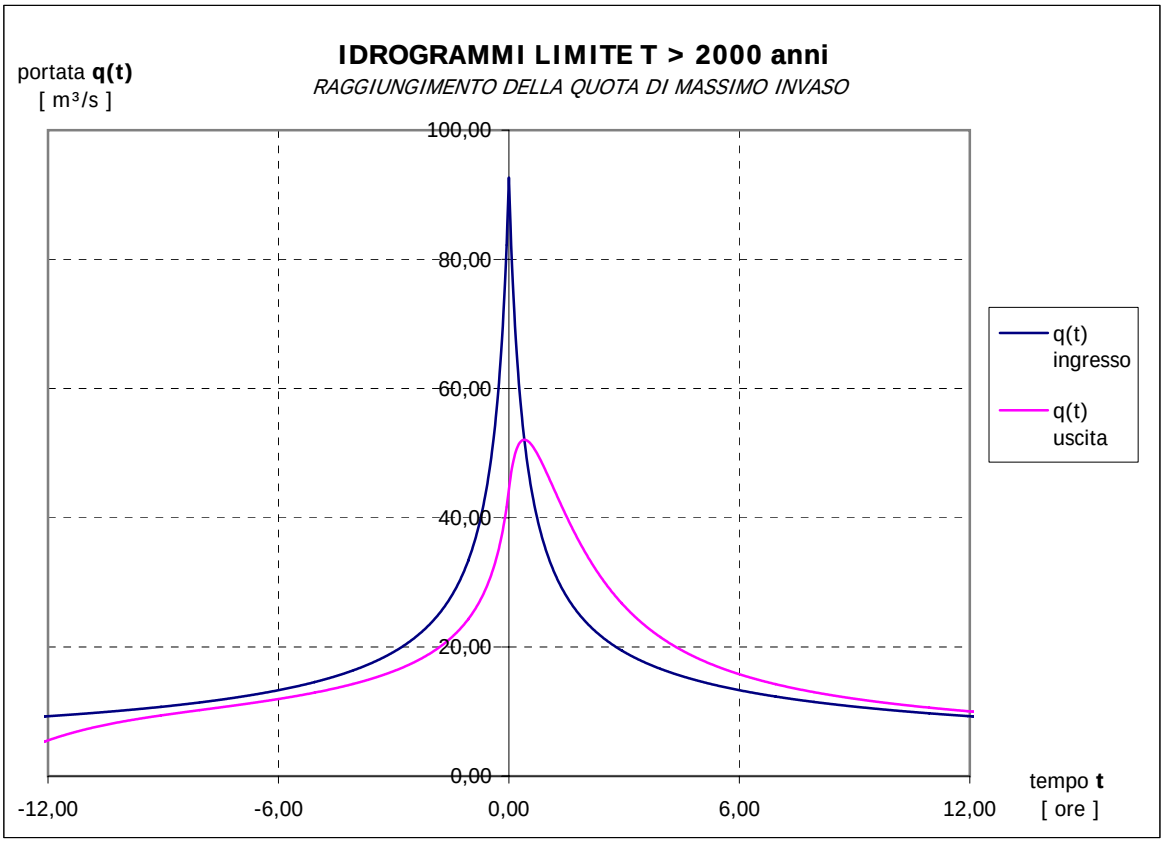

IDROGRAMMI
T = 100 anni
portata q(t)
[m³/s]
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


IDROGRAMMI
T = 200 anni
portata q(t)
[m³/s]
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

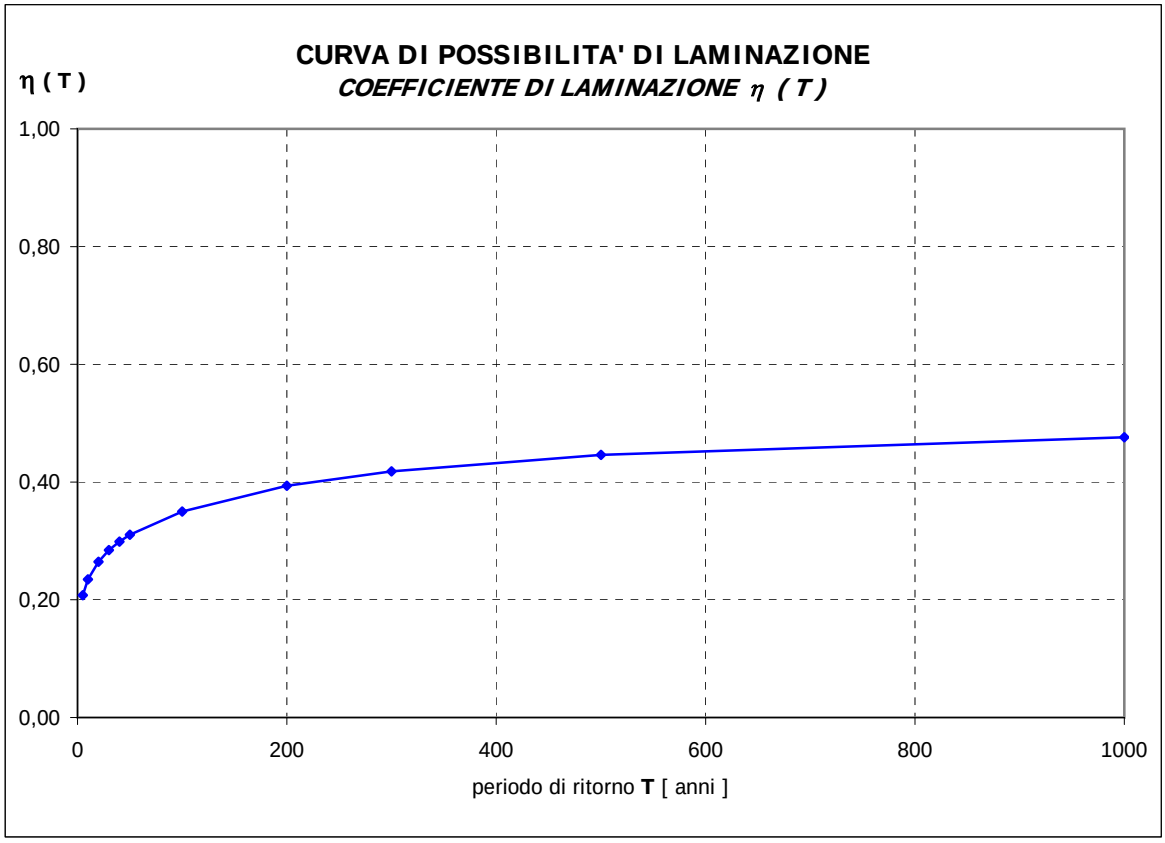

IDROGRAMMI
T = 500 anni
portata q(t)
[m³/s]
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

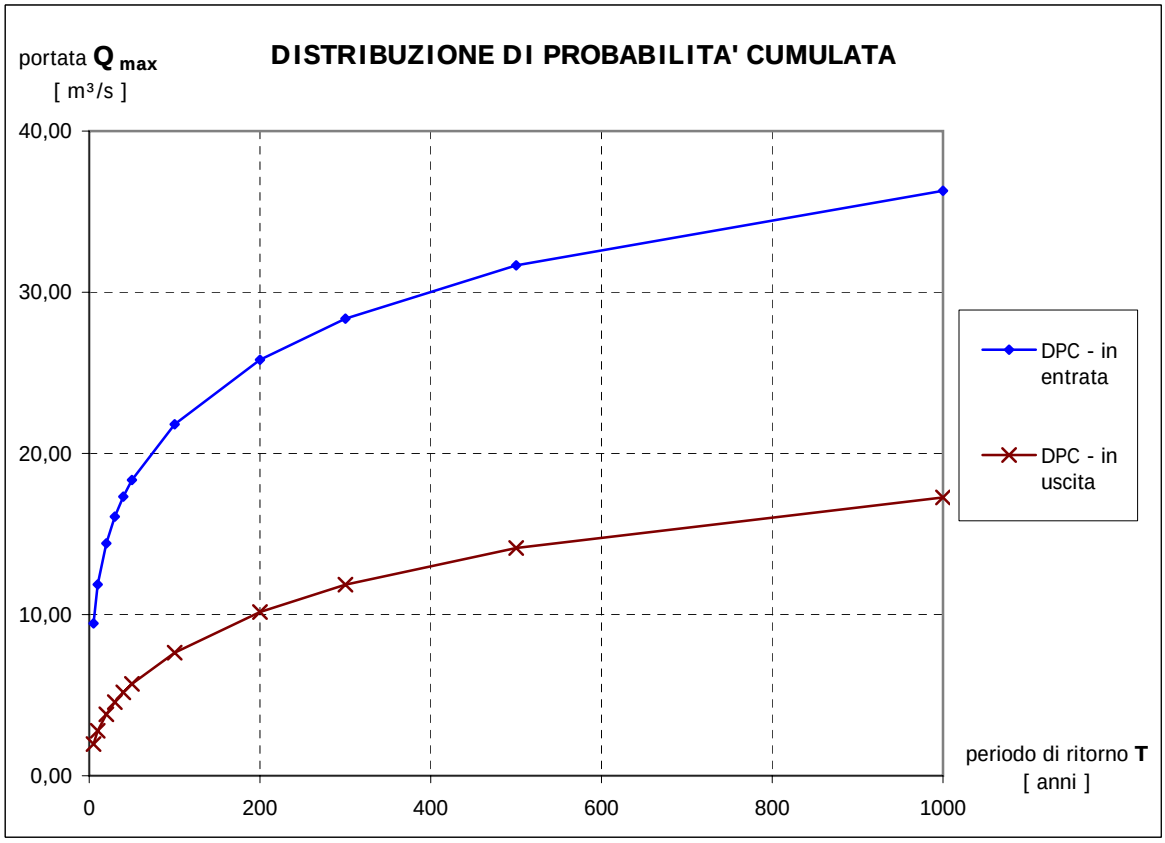

IDROGRAMMI
T = 1000 anni
portata q(t)
[m³/s]
40,00
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

DIGA DI **ALPE LARECCHIO**

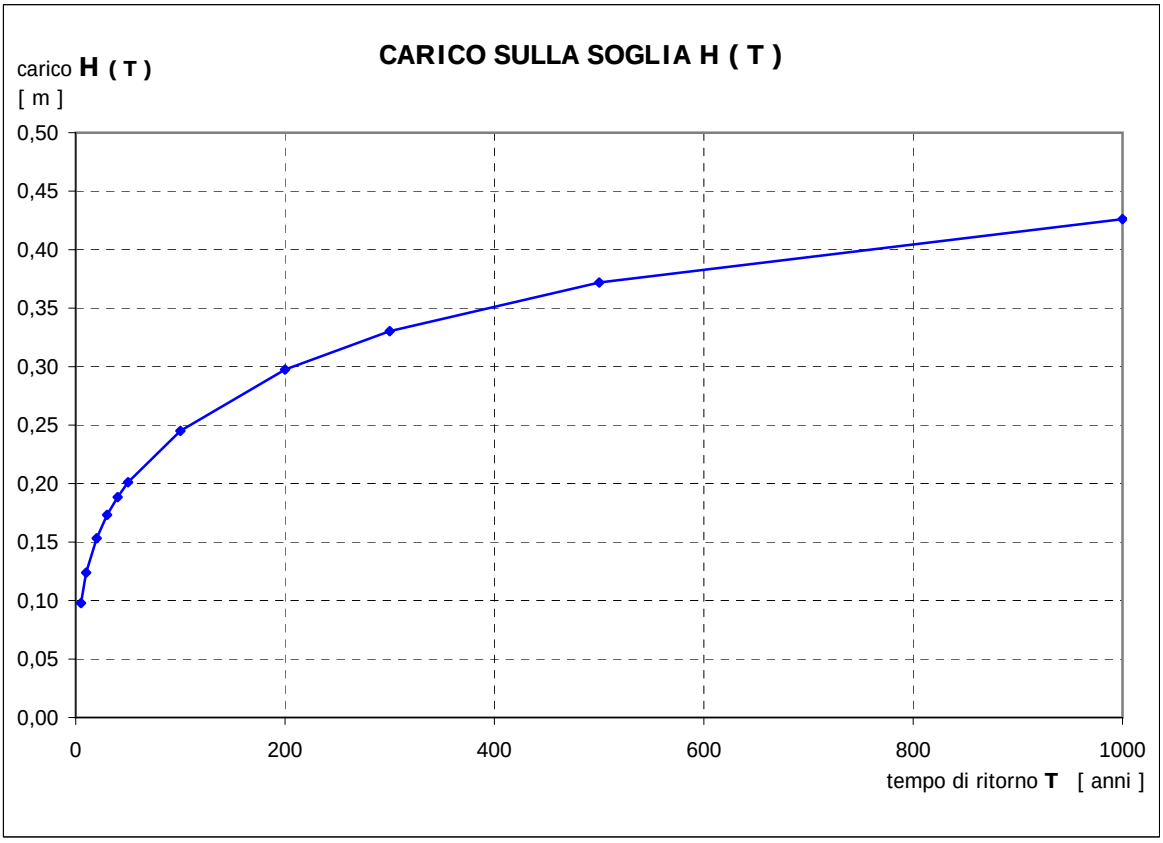


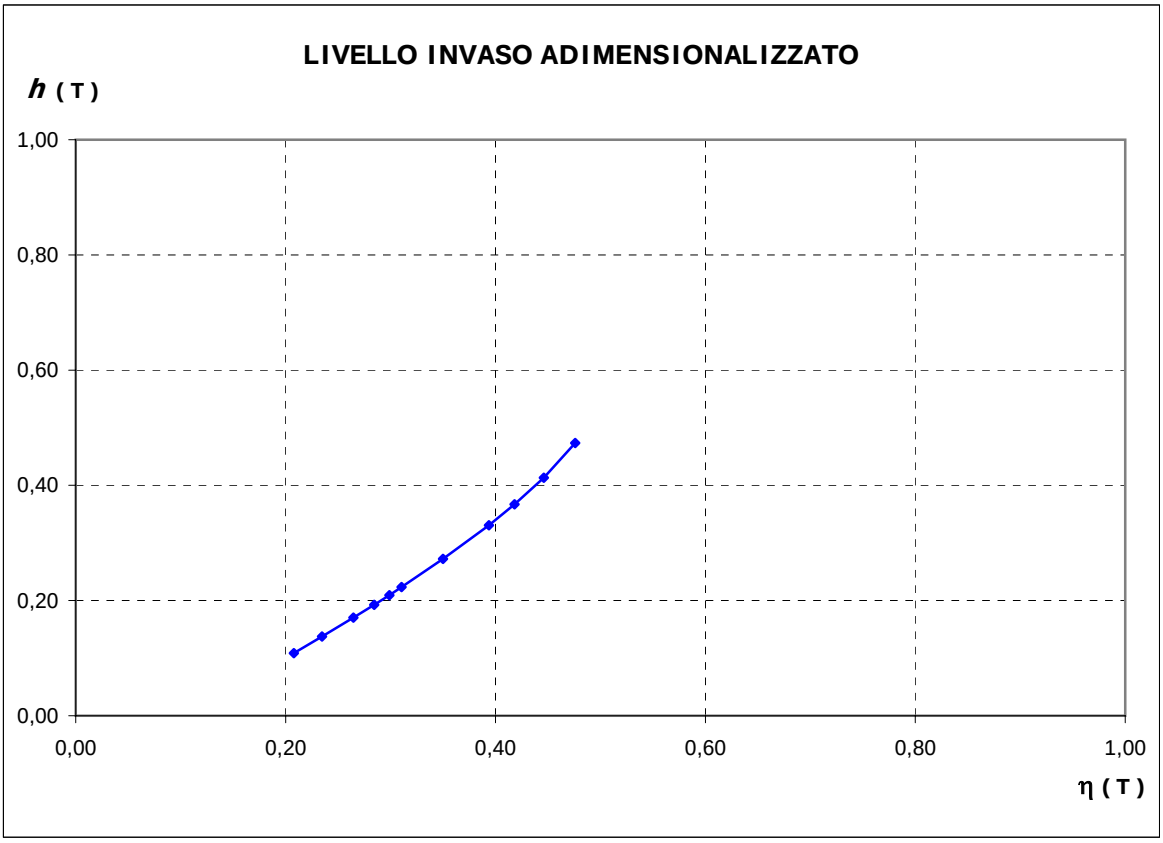
DIGA DI ALPE LARECCHIO



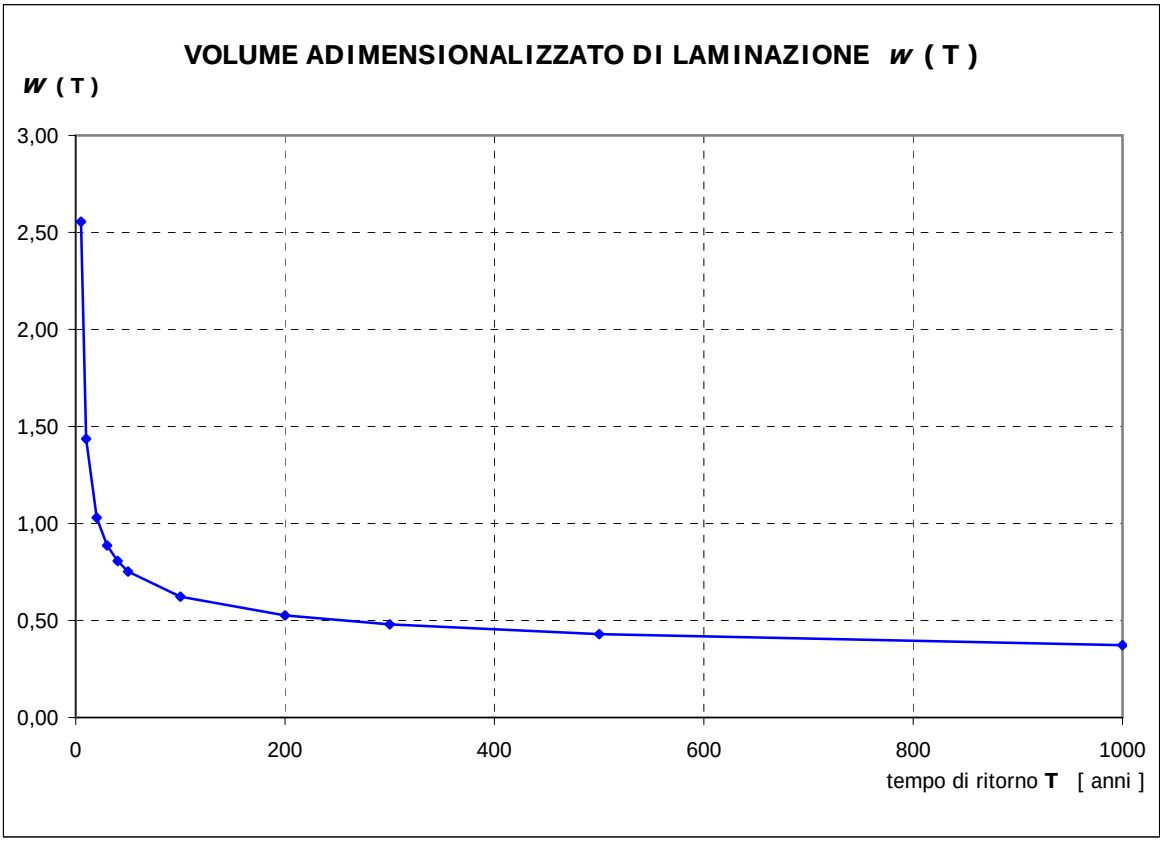


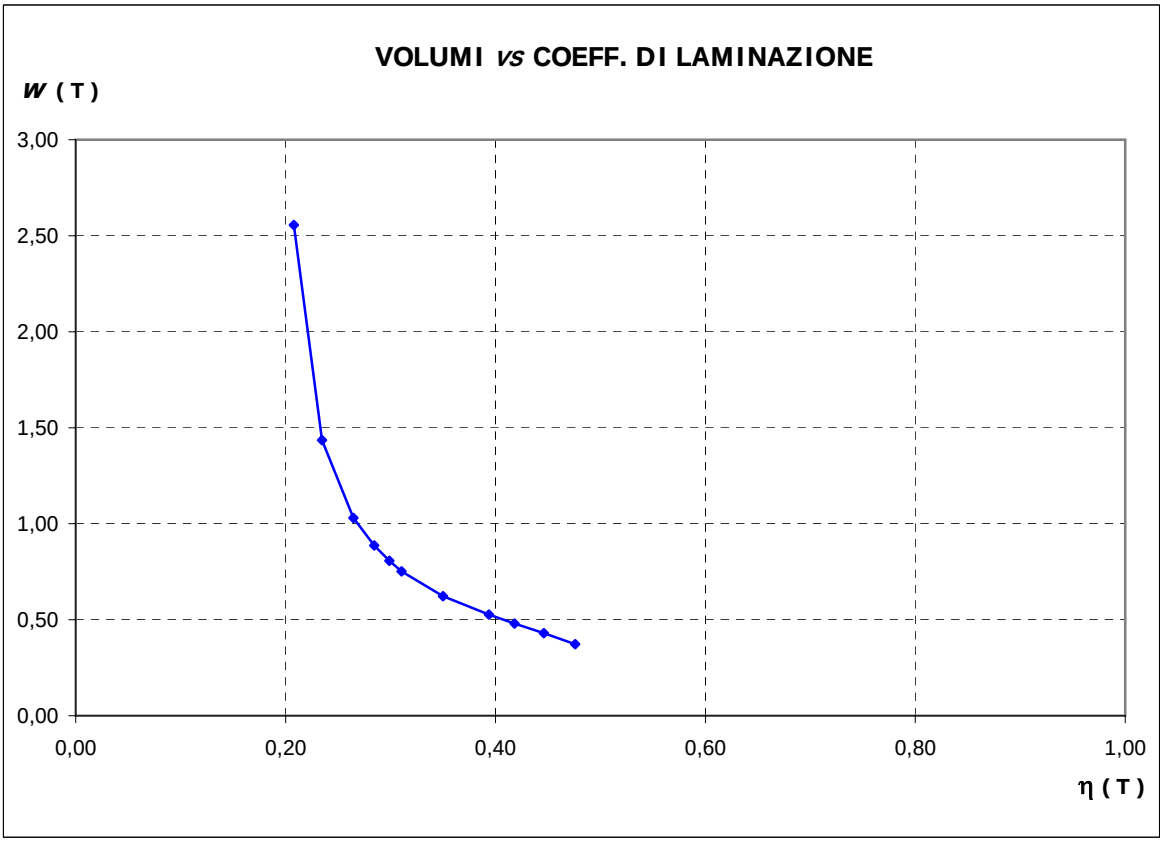
DIGA DI ALPE LARECCHIO





DIGA DI ALPE LARECCHIO





DIGA DI BUSIN INFERIORE

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 6,13 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,29	7,91	0,42	0,053	0,08	7,0	28,6	4,094	0,083
10	1,72	10,54	0,80	0,076	0,13	20,9	44,2	2,115	0,129
20	2,34	14,34	1,29	0,090	0,18	47,9	60,8	1,269	0,177
30	2,81	17,23	1,70	0,099	0,21	73,6	73,2	0,994	0,213
40	3,17	19,43	2,04	0,105	0,24	96,3	82,7	0,859	0,241
50	3,47	21,27	2,35	0,111	0,27	117,2	91,0	0,776	0,265
100	4,40	26,97	3,44	0,127	0,34	193,5	117,5	0,607	0,342
200	5,33	32,67	4,72	0,145	0,42	287,2	145,6	0,507	0,424
300	5,87	35,98	5,56	0,154	0,47	349,6	162,5	0,465	0,473
500	6,56	40,21	6,73	0,167	0,54	438,0	184,8	0,422	0,538
1000	7,49	45,91	8,45	0,184	0,63	572,3	215,5	0,377	0,627
>2000	*11,34*	*69,52*	*16,93*	*0,244*	*1,00*	*1316,5*	*344,4*	*0,262*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,5 #

area totale del bacino **A** = 3,02 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,30 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,464 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 1,077 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,5 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 2369,65 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 2388,00 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 4,870 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 0,188 Mm³

esponente **m1** = 1,159 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 2387,00 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 5,13 Mm³

carico massimo sulla soglia: 1,00 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 16,940 m³/s

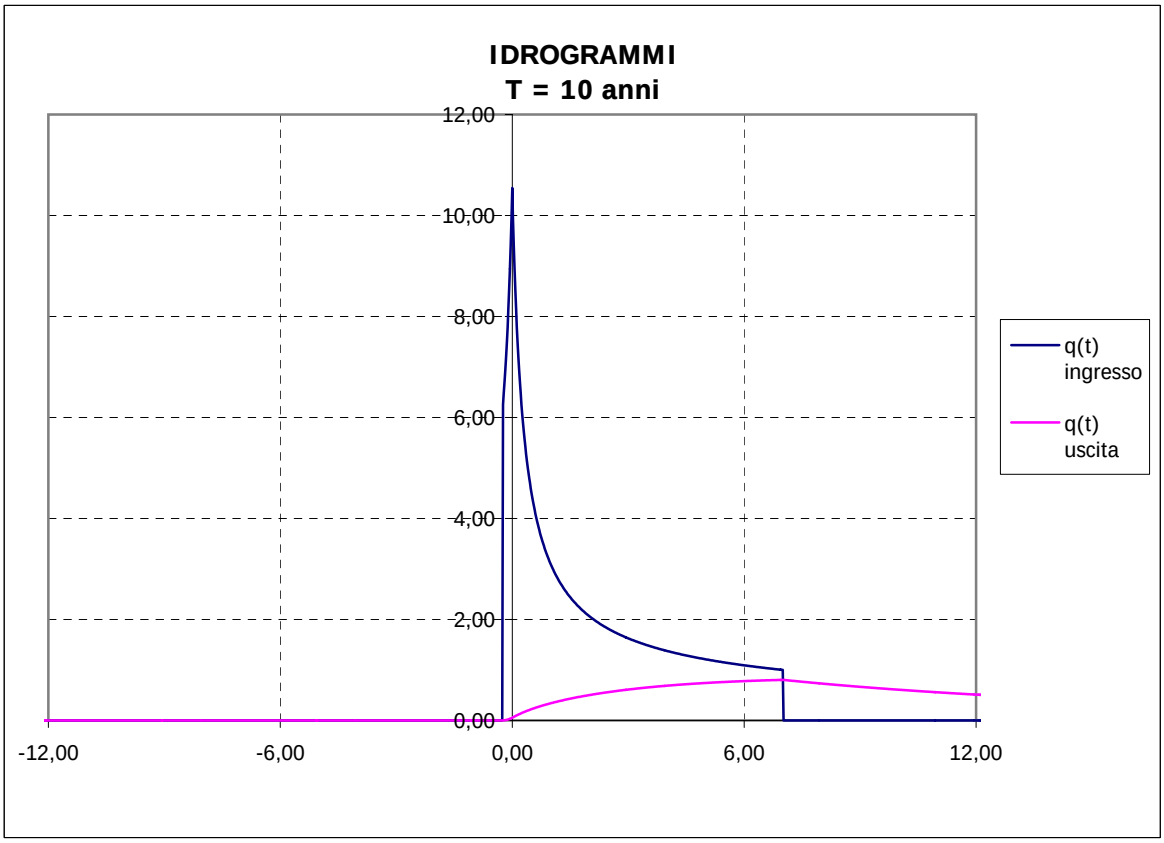
esponente **n1** = 1,487 #

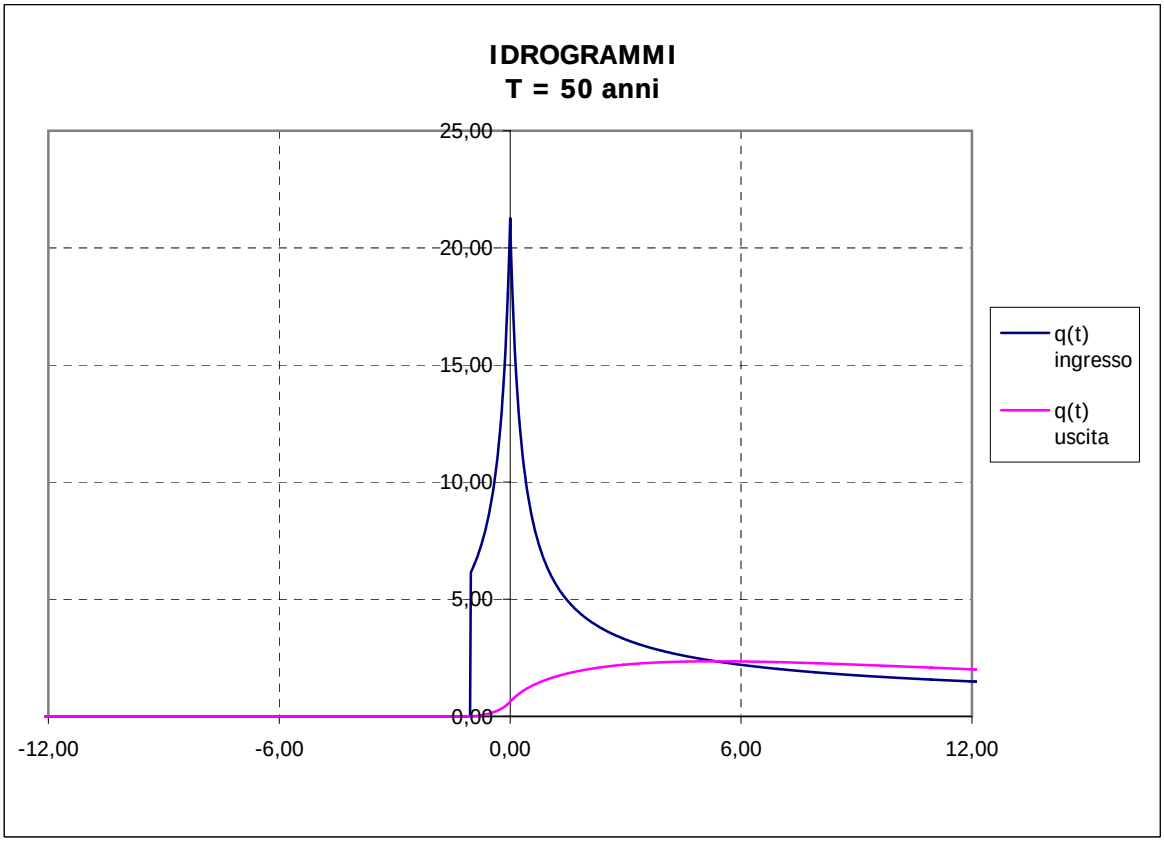
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

portata al colmo Q_T = **69,52** m³ / s

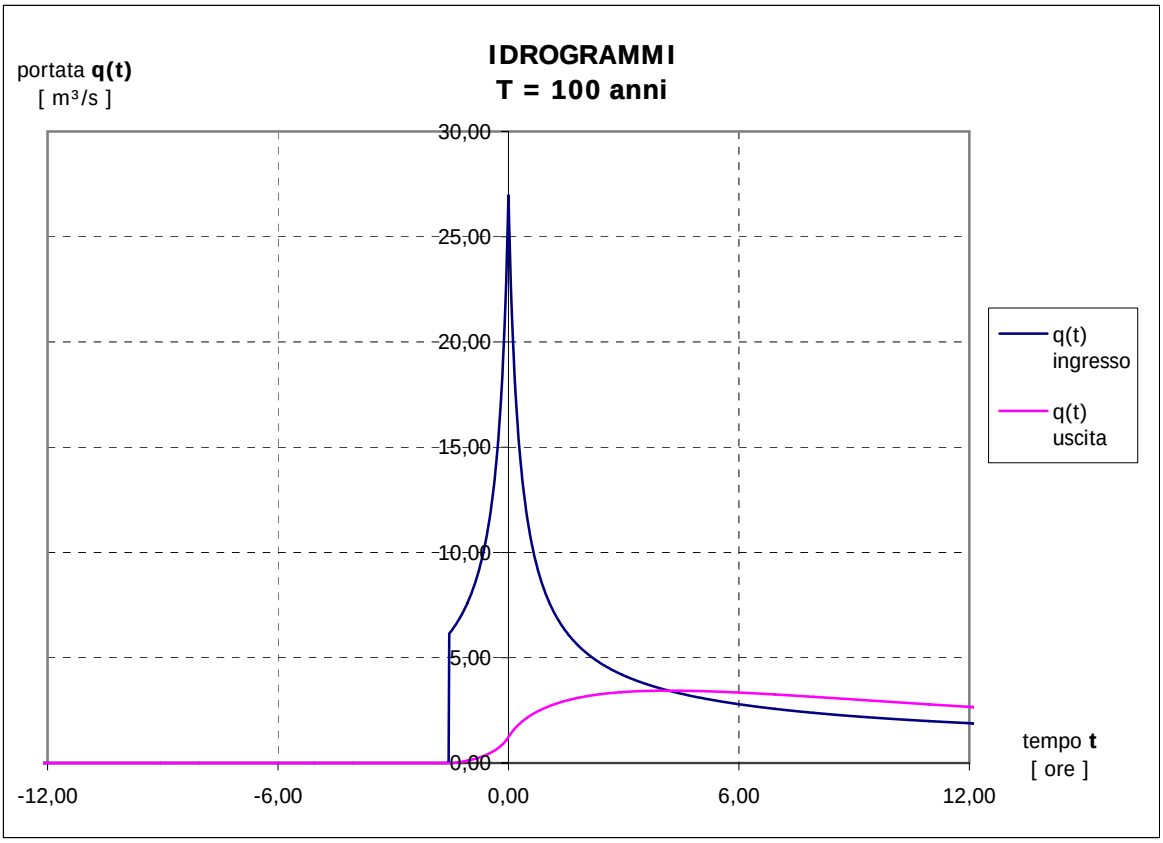
fattore di crescita K_T = **11,34**

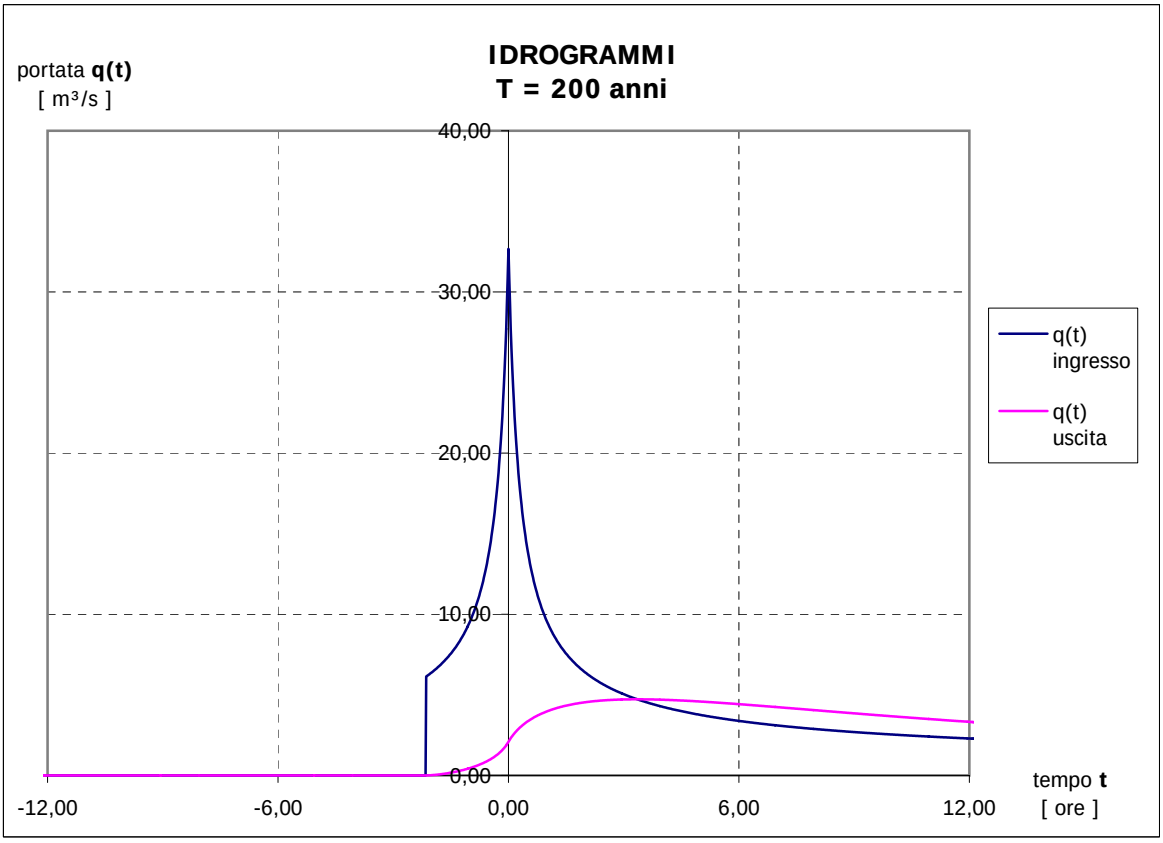
tempo di ritorno stimato **T** = **>2000** anni


IDROGRAMMI
T = 10 anni
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
q(t) ingresso
q(t) uscita

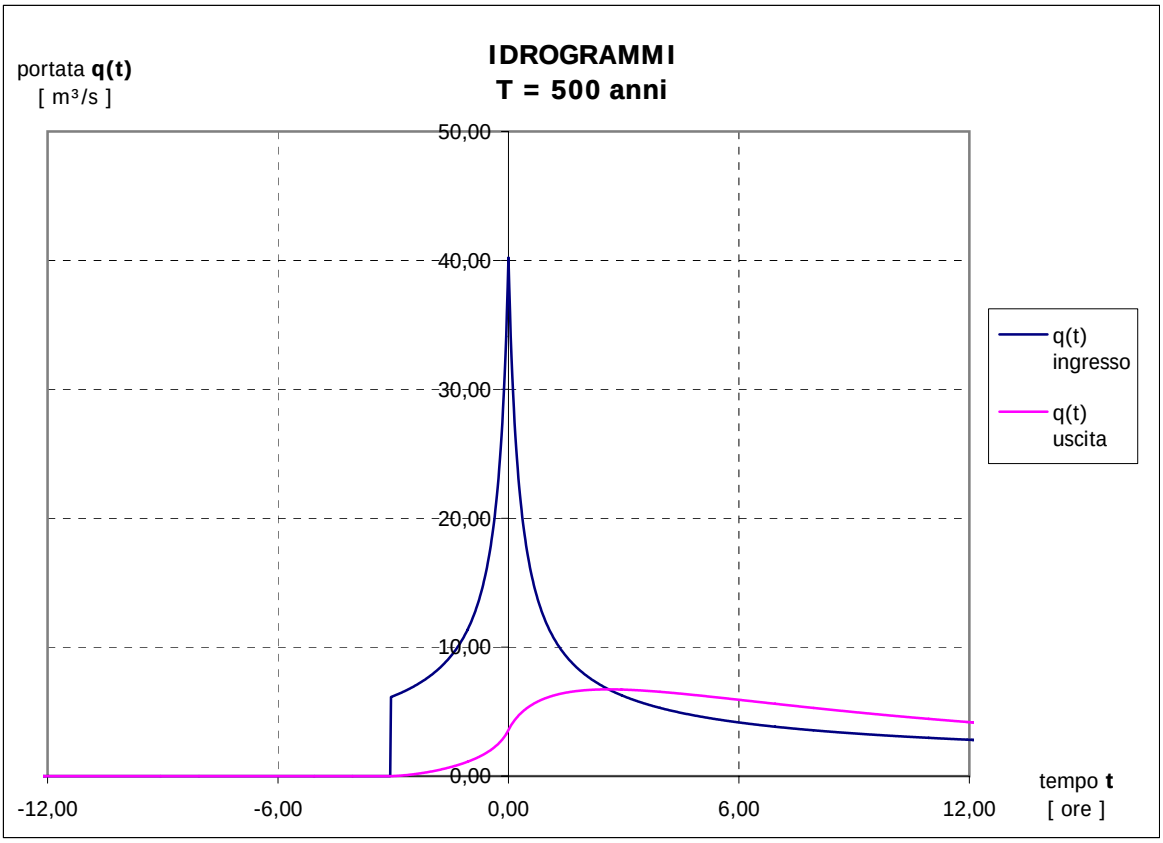

IDROGRAMMI
T = 50 anni
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
q(t) ingresso
q(t) uscita

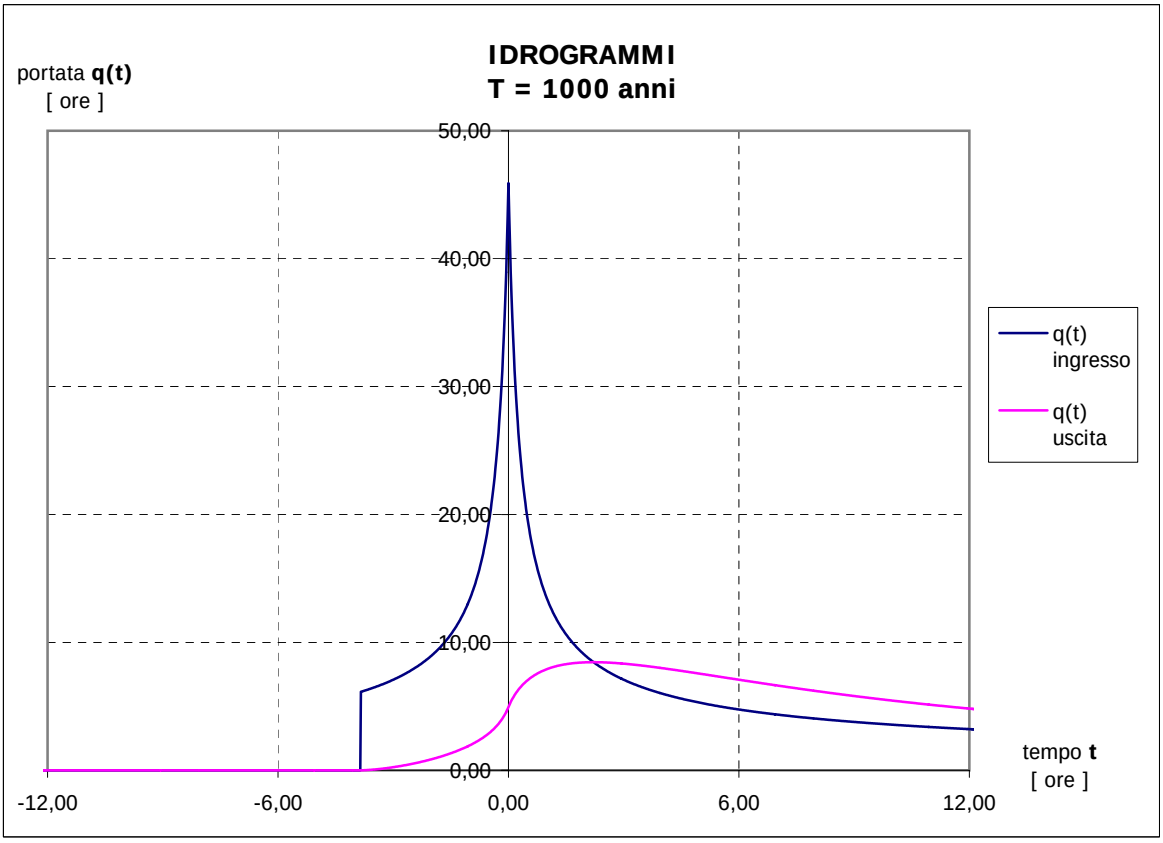
DIGA DI BUSIN INFERIORE



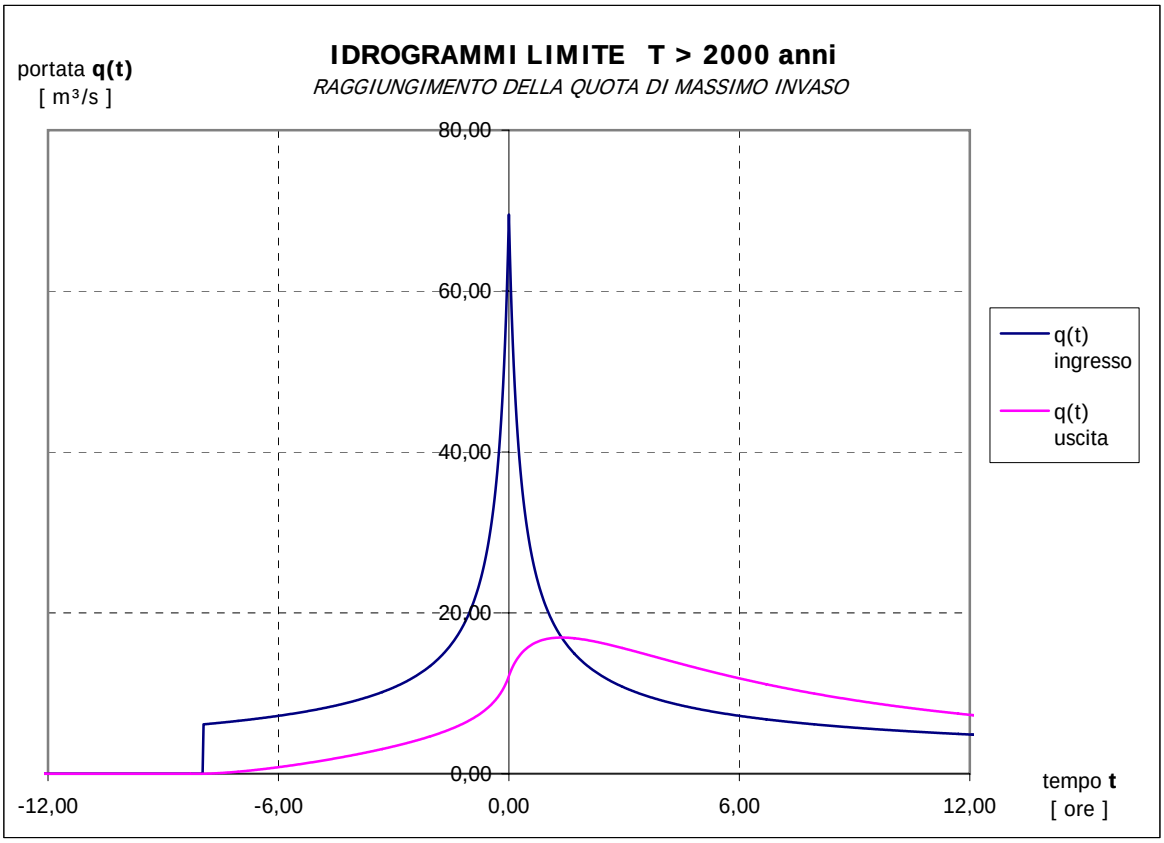


DIGA DI BUSIN INFERIORE

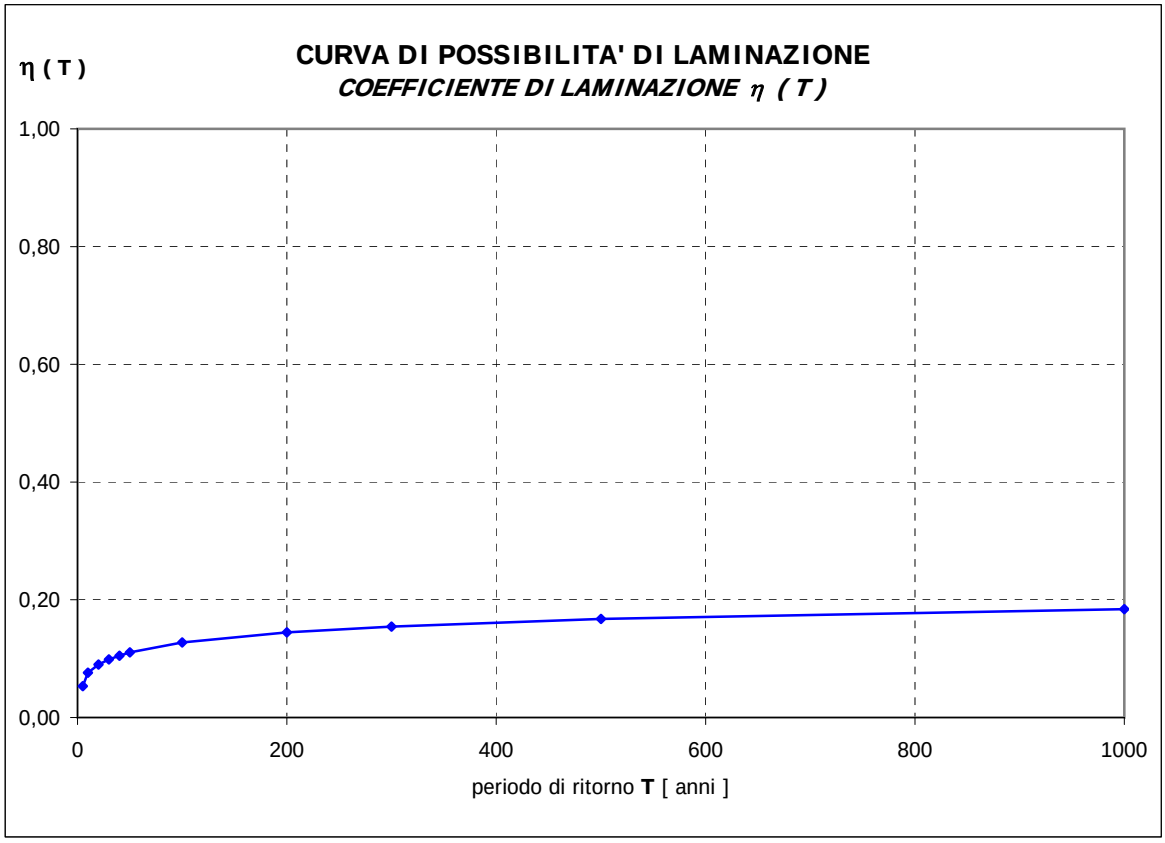


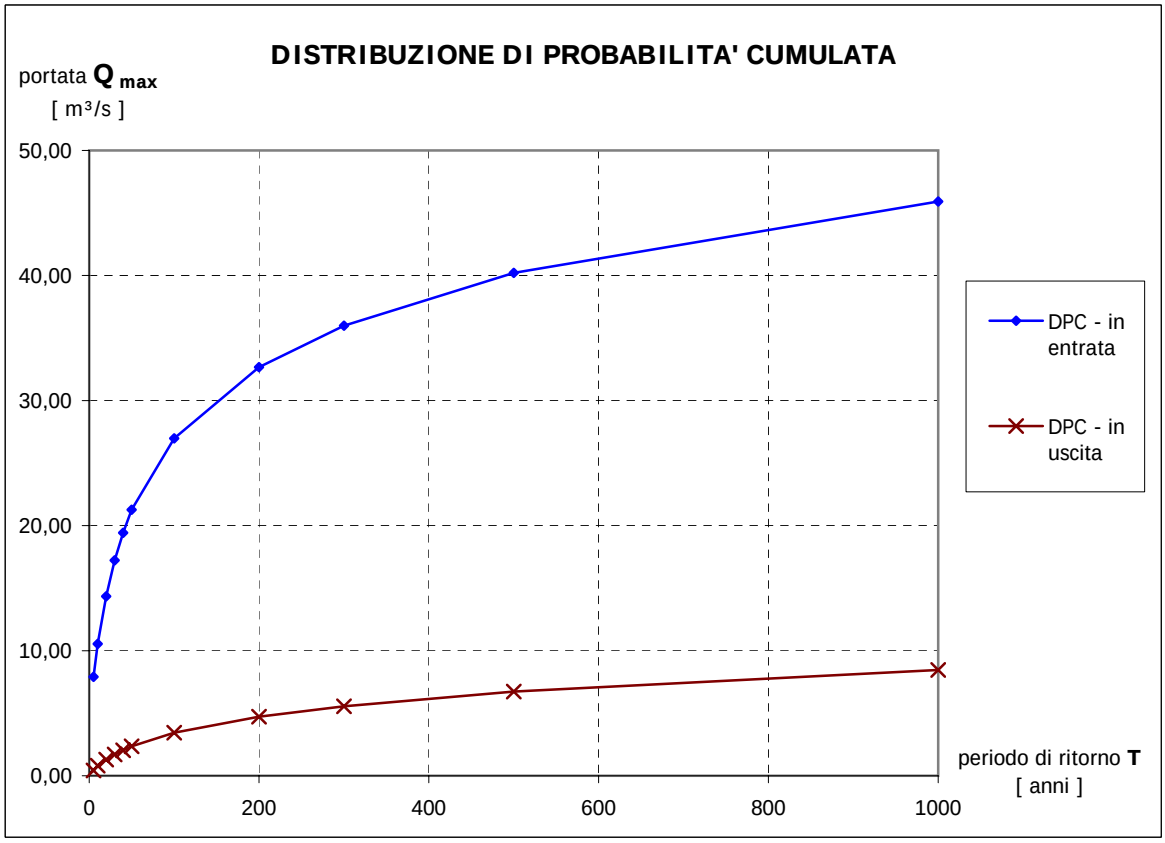


DIGA DI **BUSIN INFERIORE**

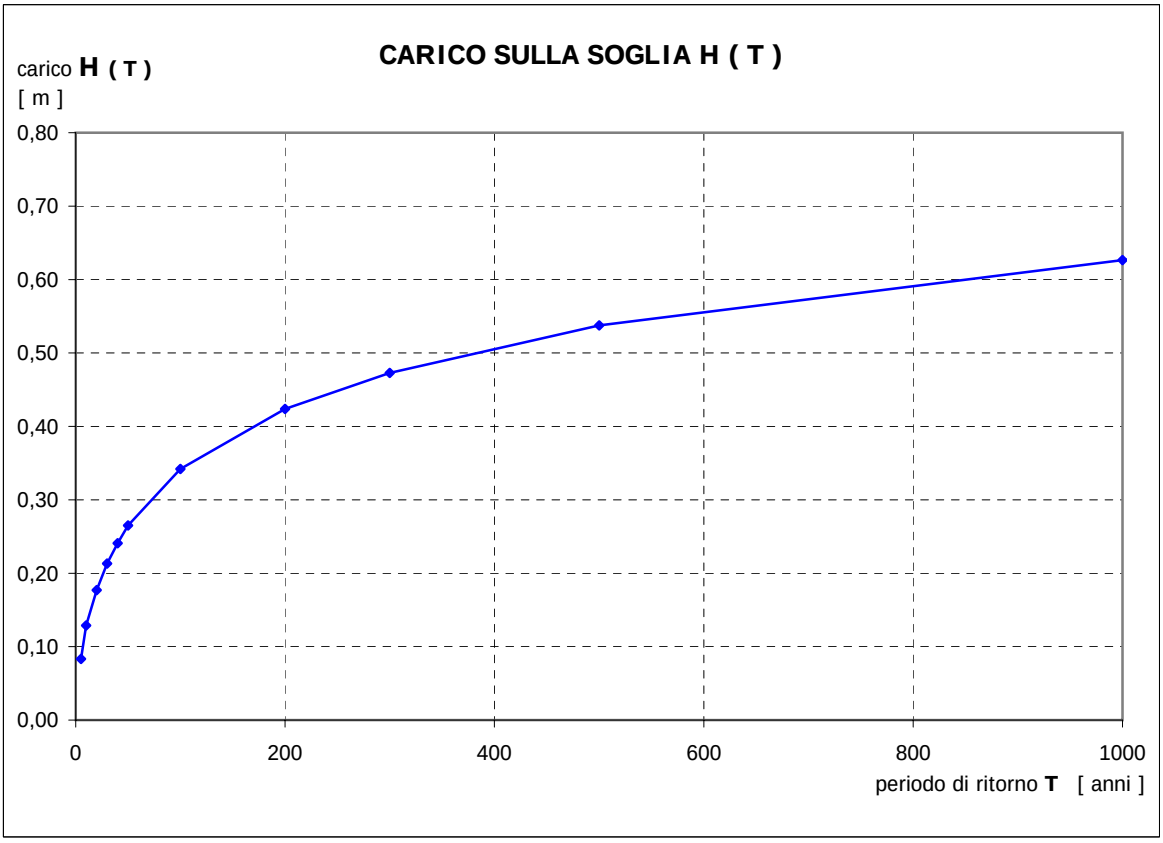


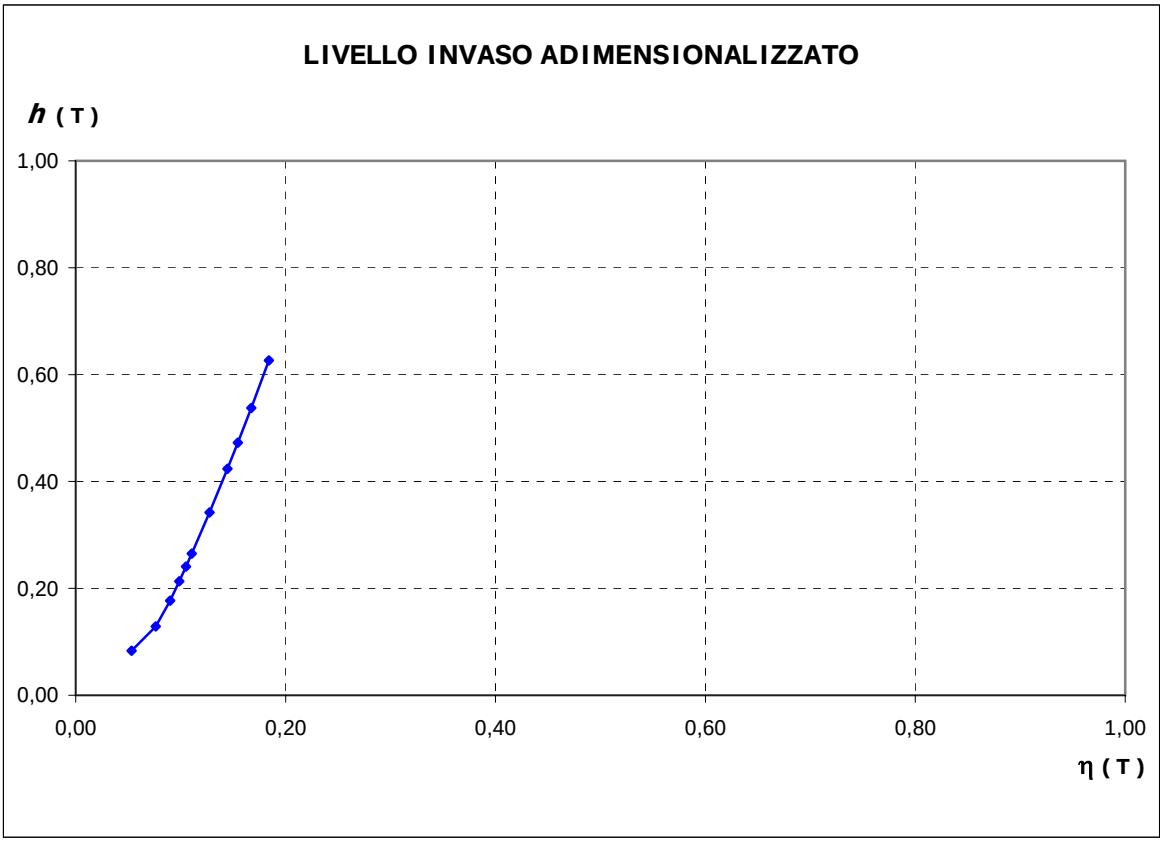
DIGA DI BUSIN INFERIORE



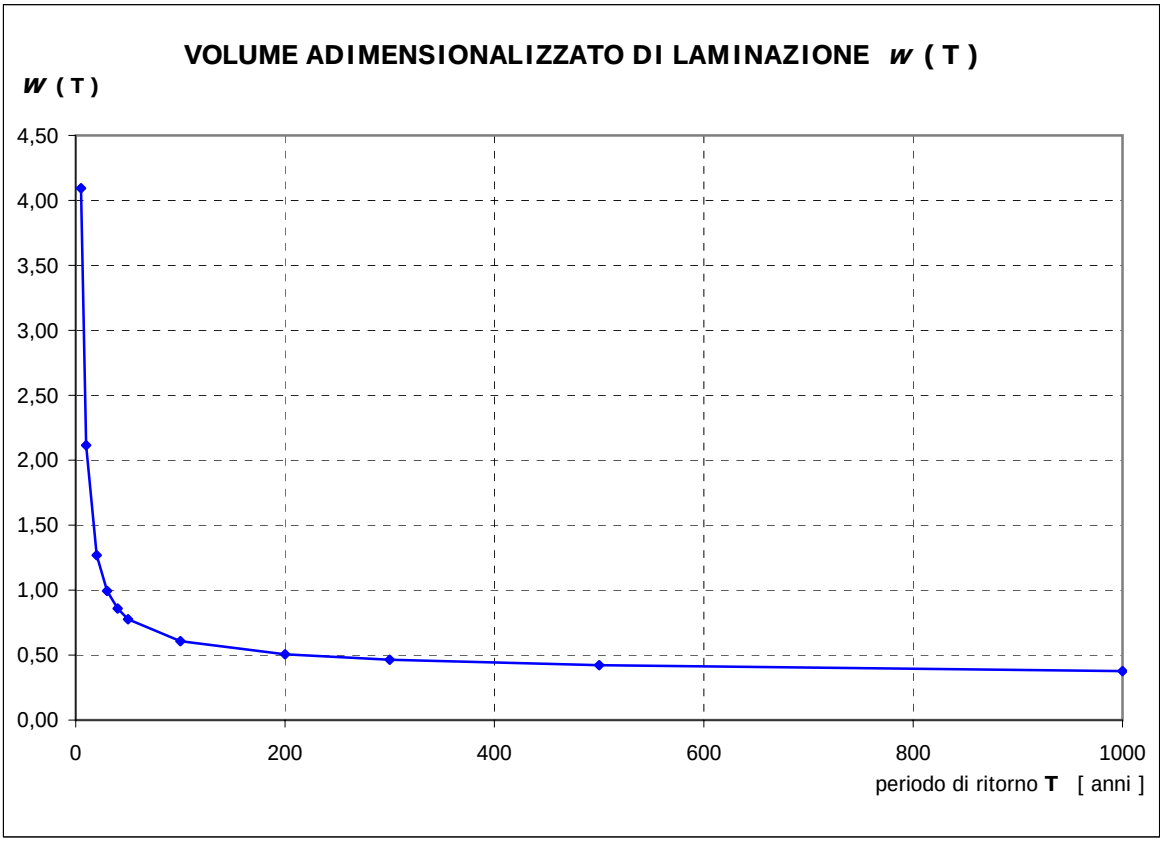


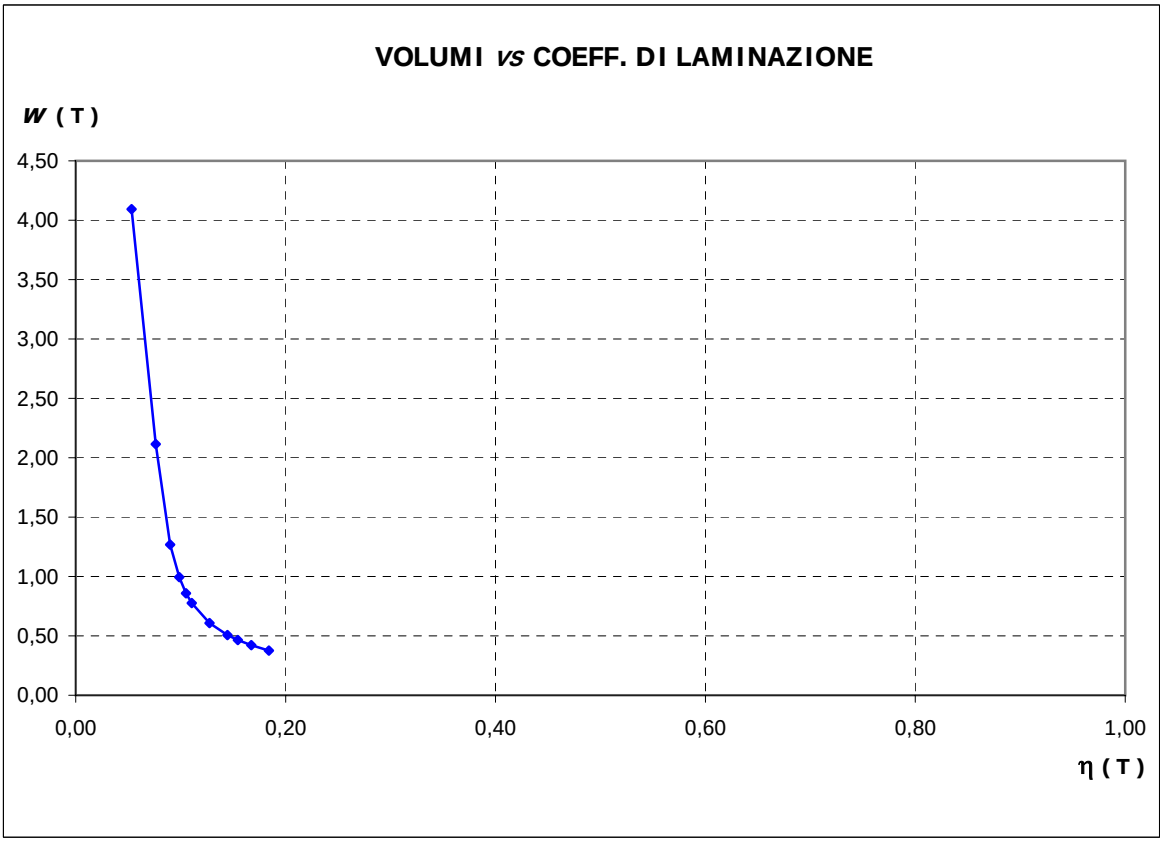
DIGA DI BUSIN INFERIORE





DIGA DI BUSIN INFERIORE





DIGA DI CAMPLICCIOLI

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 38,4 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,29	49,54	18,45	0,372	0,90	154,2	272,6	1,767	0,196
10	1,81	69,50	33,44	0,481	1,28	562,1	390,0	0,694	0,279
20	2,62	100,61	64,26	0,639	1,89	1541,6	579,0	0,376	0,412
30	3,20	122,88	85,93	0,699	2,25	2515,9	690,8	0,275	0,489
40	3,63	139,39	100,40	0,720	2,47	3394,0	759,4	0,224	0,537
50	3,96	152,06	110,91	0,729	2,62	4161,5	807,0	0,194	0,570
100	4,99	191,62	143,14	0,747	3,05	7104,1	943,2	0,133	0,664
200	6,03	231,55	176,17	0,761	3,45	10961,1	1071,4	0,098	0,751
300	6,63	254,59	195,58	0,768	3,68	13611,2	1142,6	0,084	0,799
500	7,39	283,78	220,56	0,777	3,95	17431,3	1230,5	0,071	0,859
1000	8,42	323,33	255,22	0,789	4,31	23461,2	1346,7	0,057	0,937
>2000	*9,31*	*357,66*	*284,67*	*0,796*	*4,60*	*29517,2*	*1441,1*	*0,049*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,56 #

area totale del bacino **A** = 35,19 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,47 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 1,401 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,357 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,44 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1307,67 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1360,60 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 9,080 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 4,780E-03 Mm³

esponente **m1** = 1,902 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 1356,00 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 7,63 Mm³

carico massimo sulla soglia: 4,60 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 22,030 m³/s

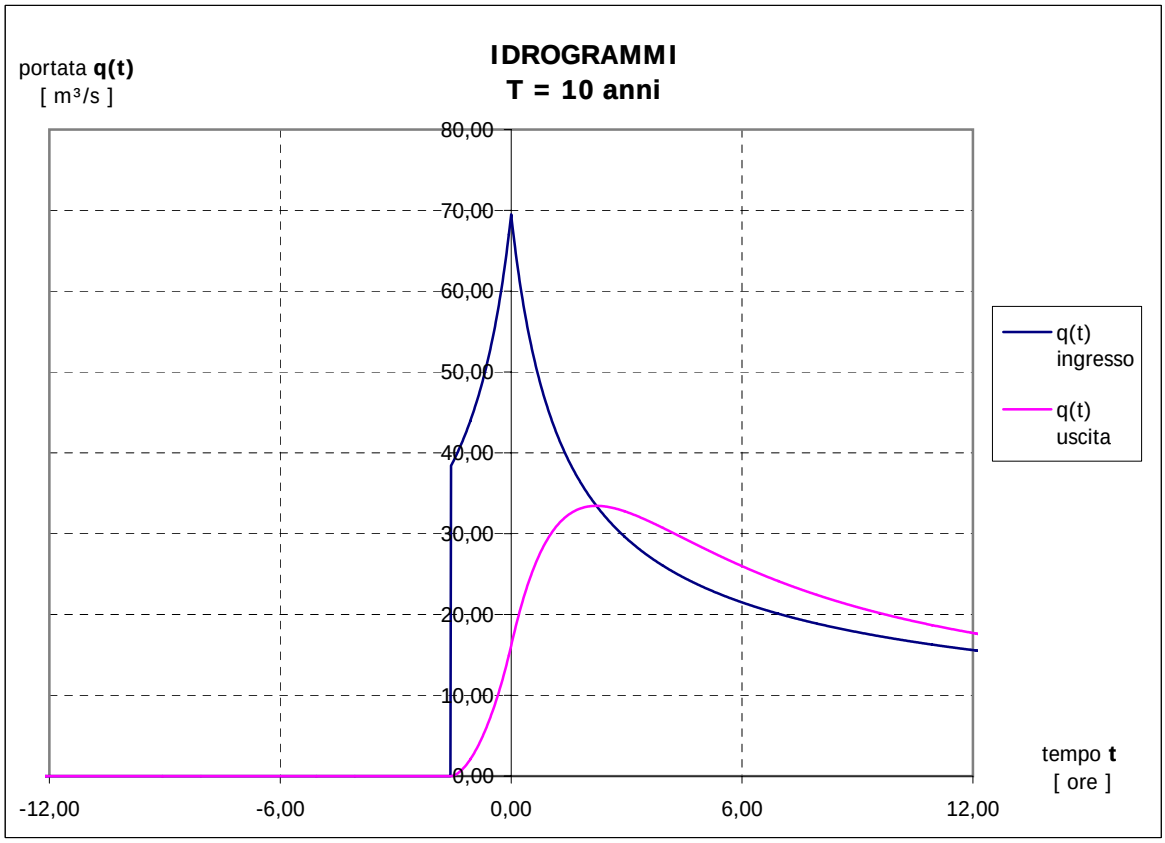
esponente **n1** = 1,677 #

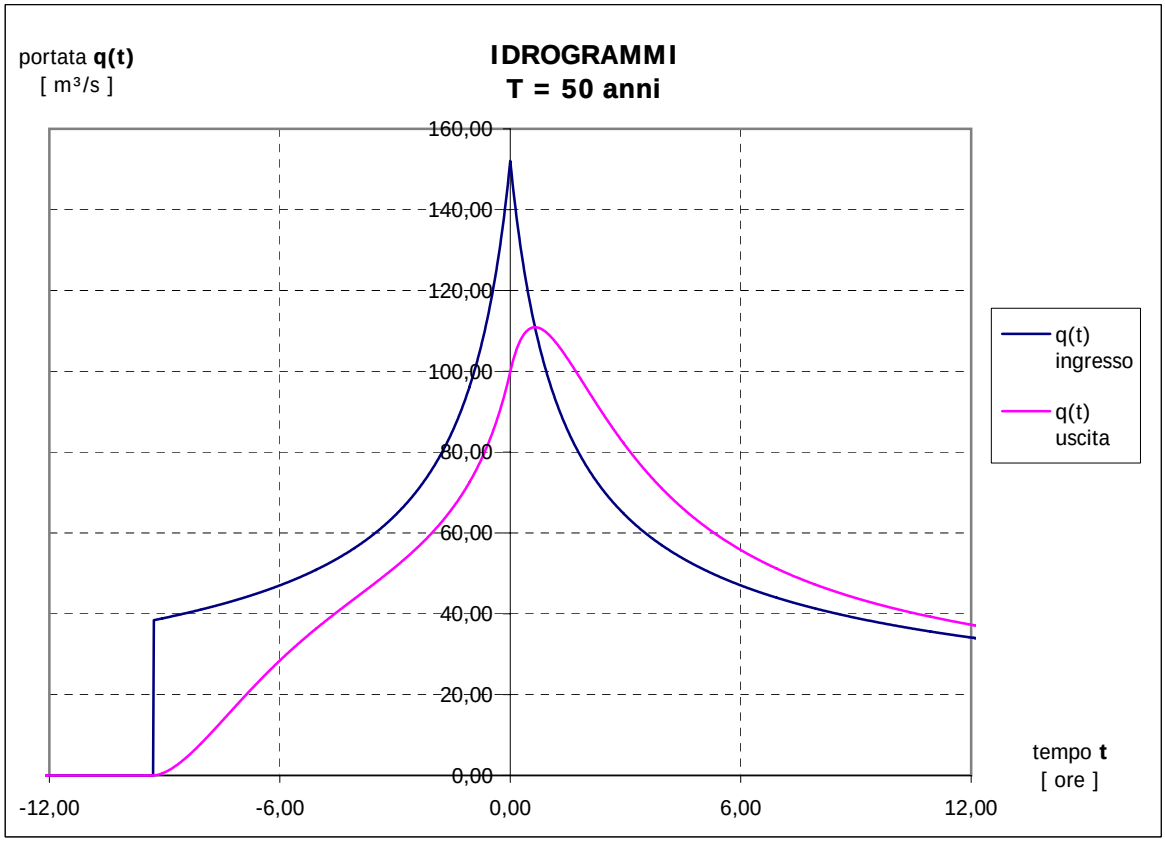
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

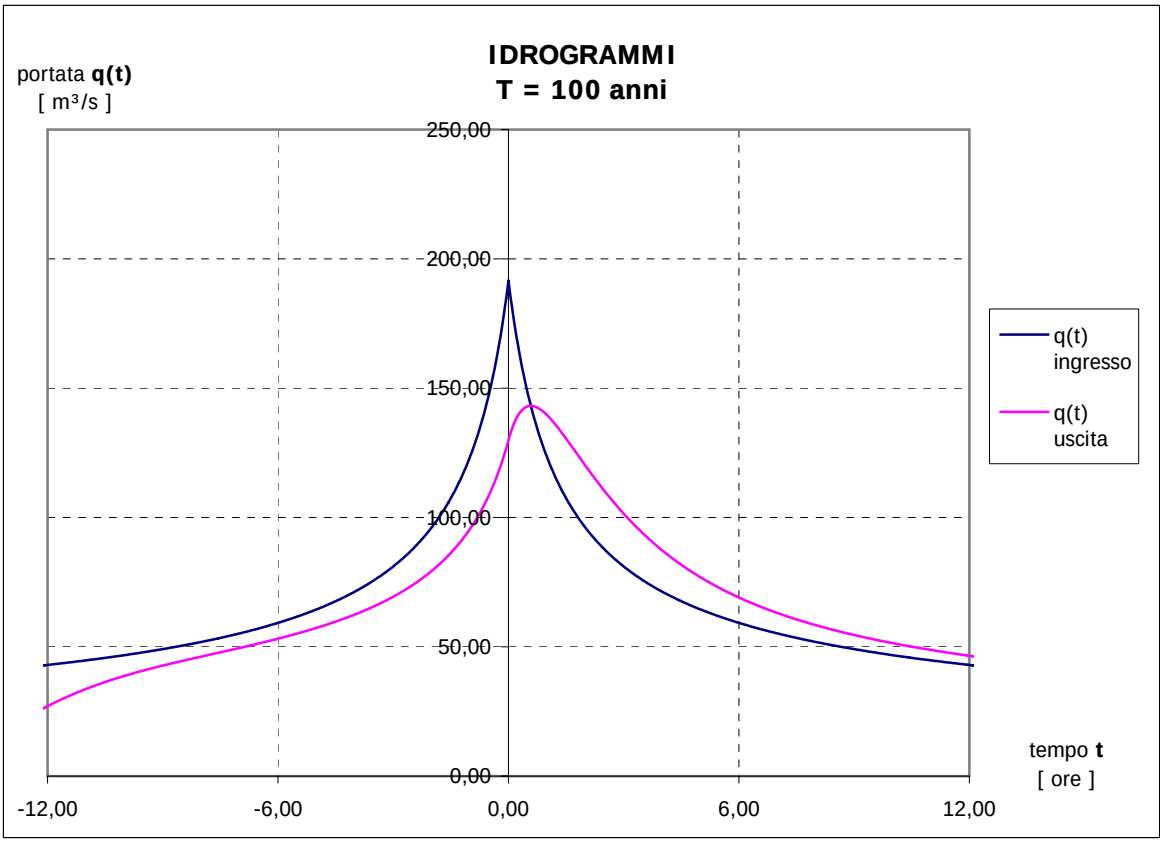
portata al colmo Q_T = **357,66** m³ / s

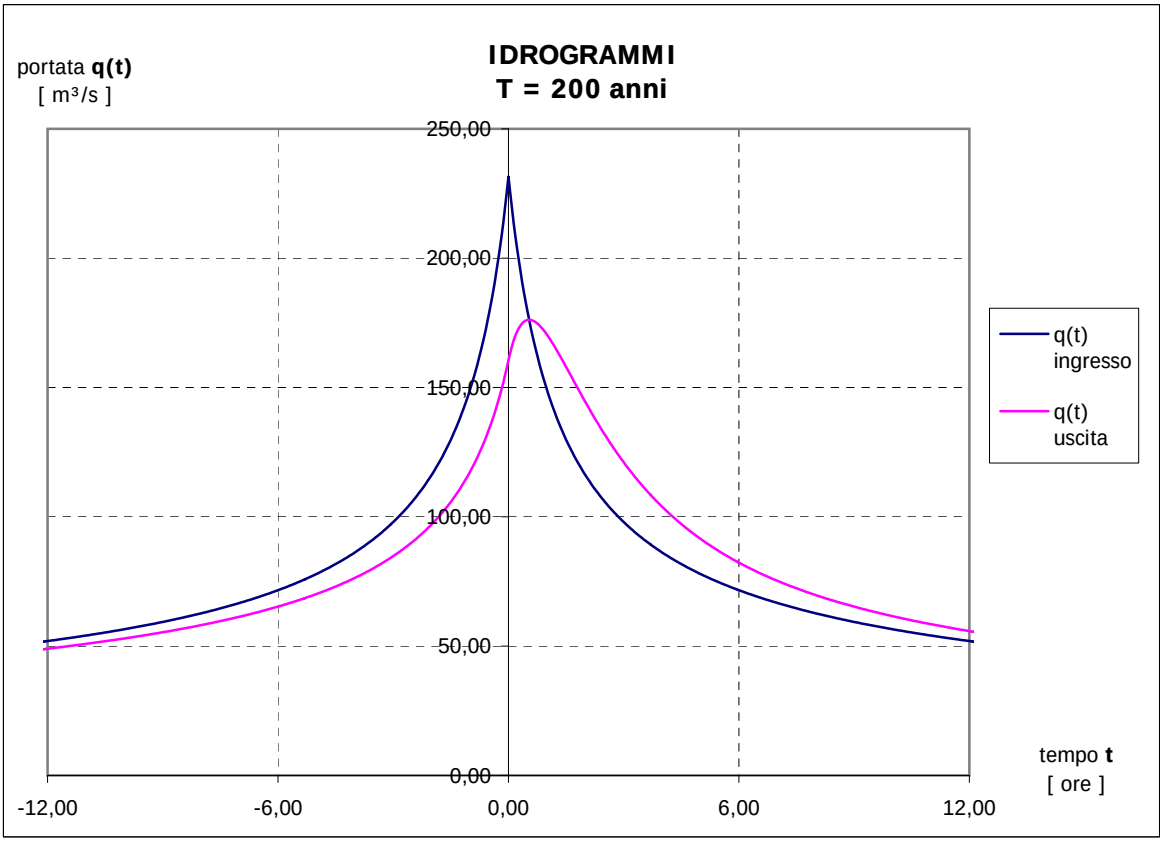
fattore di crescita K_T = **9,31**

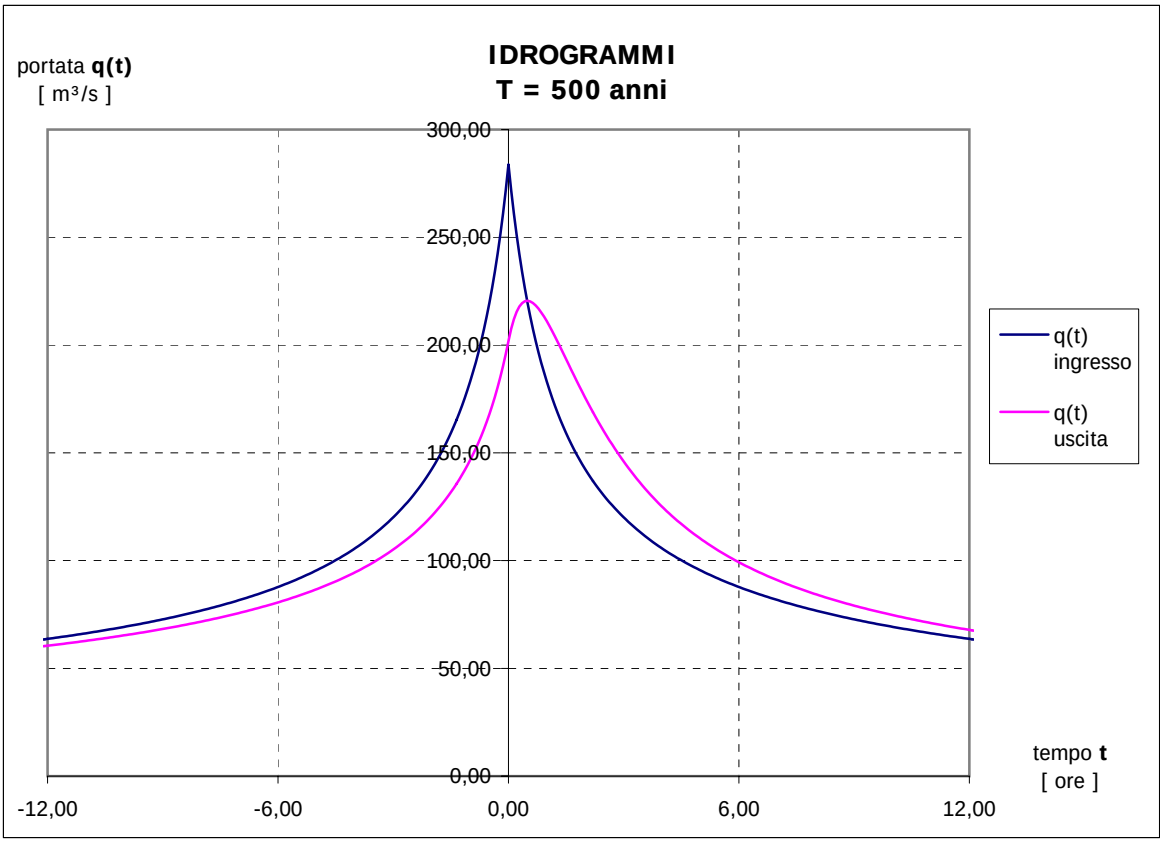
tempo di ritorno stimato **T** = **>2000** anni

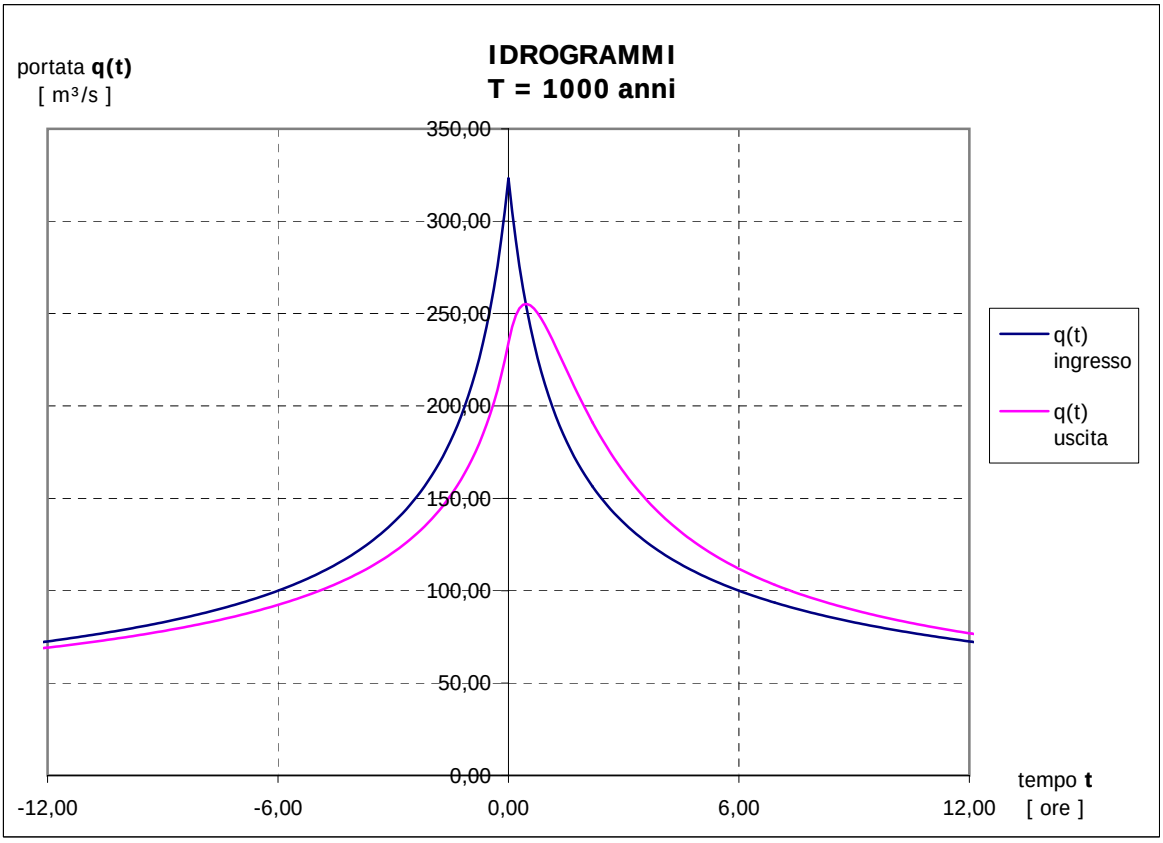

IDROGRAMMI
T = 10 anni
portata q(t)
[m³/s]
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


IDROGRAMMI
T = 50 anni
portata q(t)
[m³/s]
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

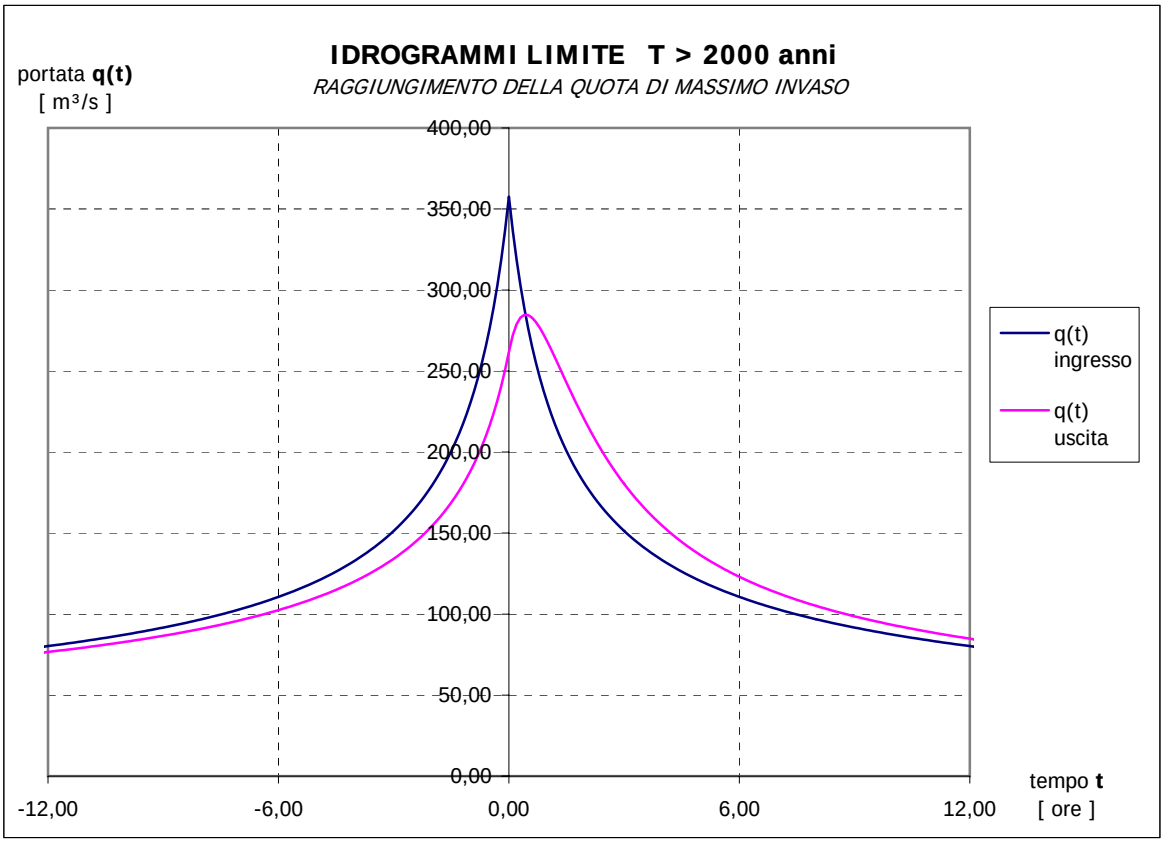

IDROGRAMMI
T = 100 anni
portata q(t)
[m³/s]
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

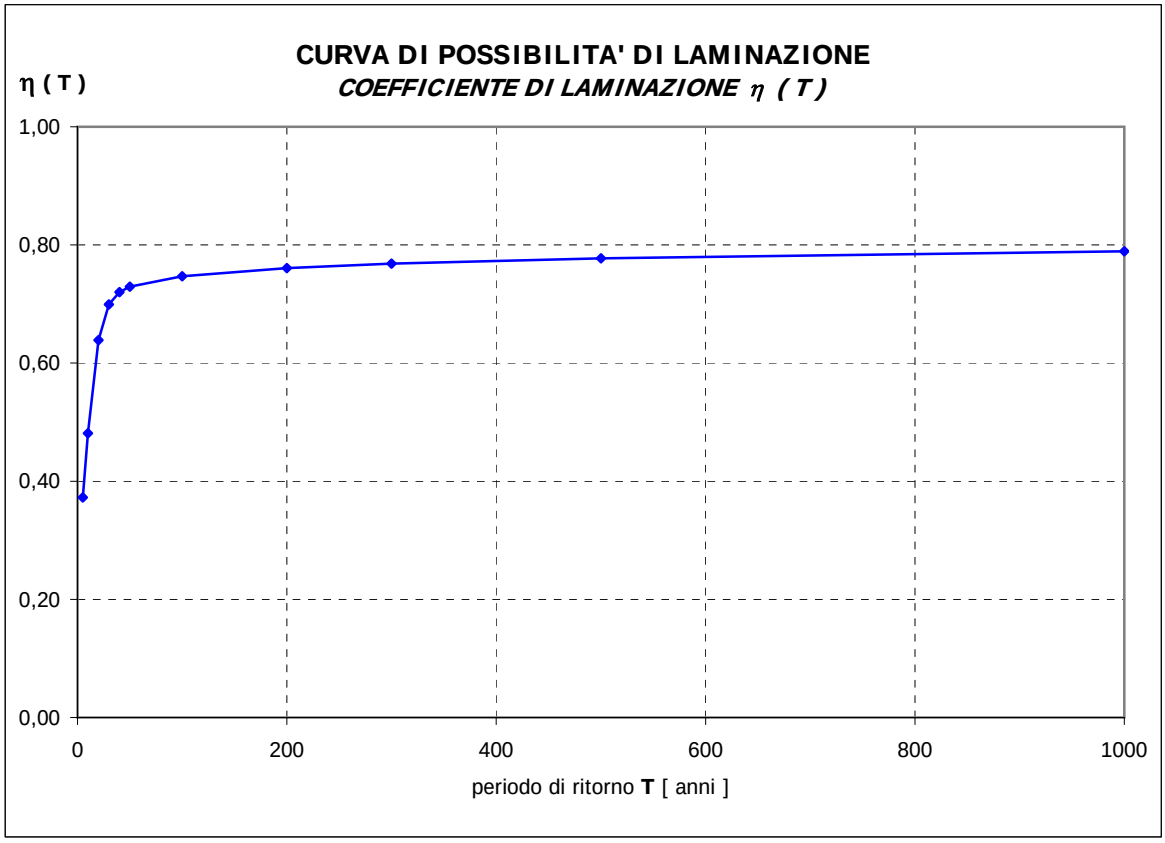

IDROGRAMMI
T = 200 anni
portata q(t)
[m³/s]
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

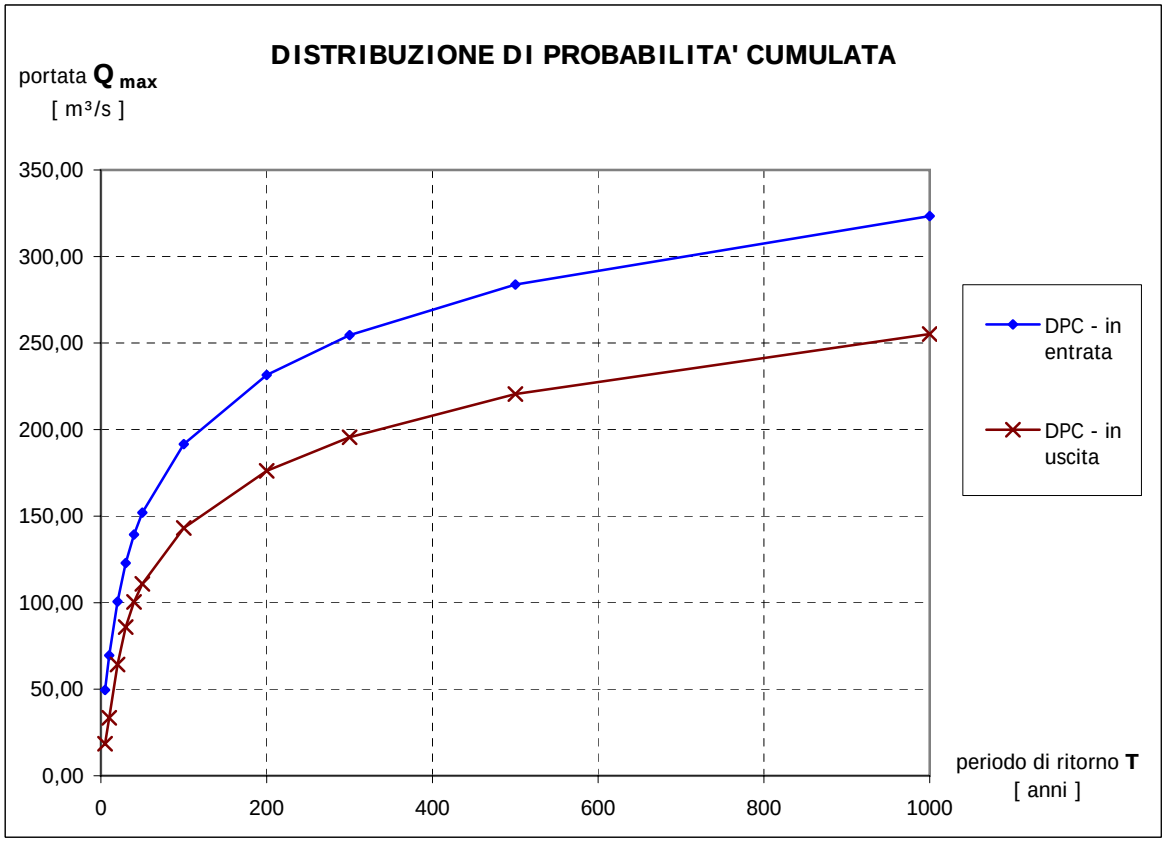

IDROGRAMMI
T = 500 anni
portata q(t)
[m³/s]
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


IDROGRAMMI
T = 1000 anni
portata q(t)
[m³/s]
350,00
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

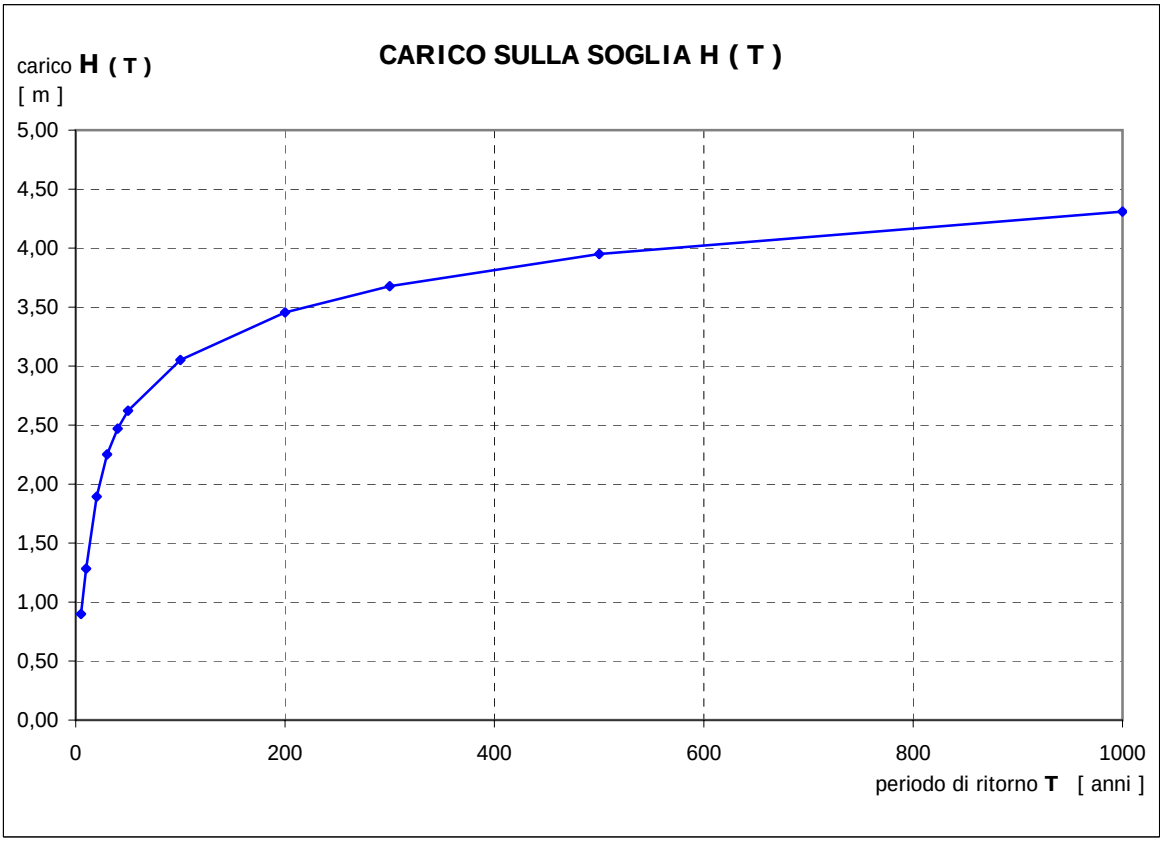
DIGA DI **CAMPLICCIOLI**

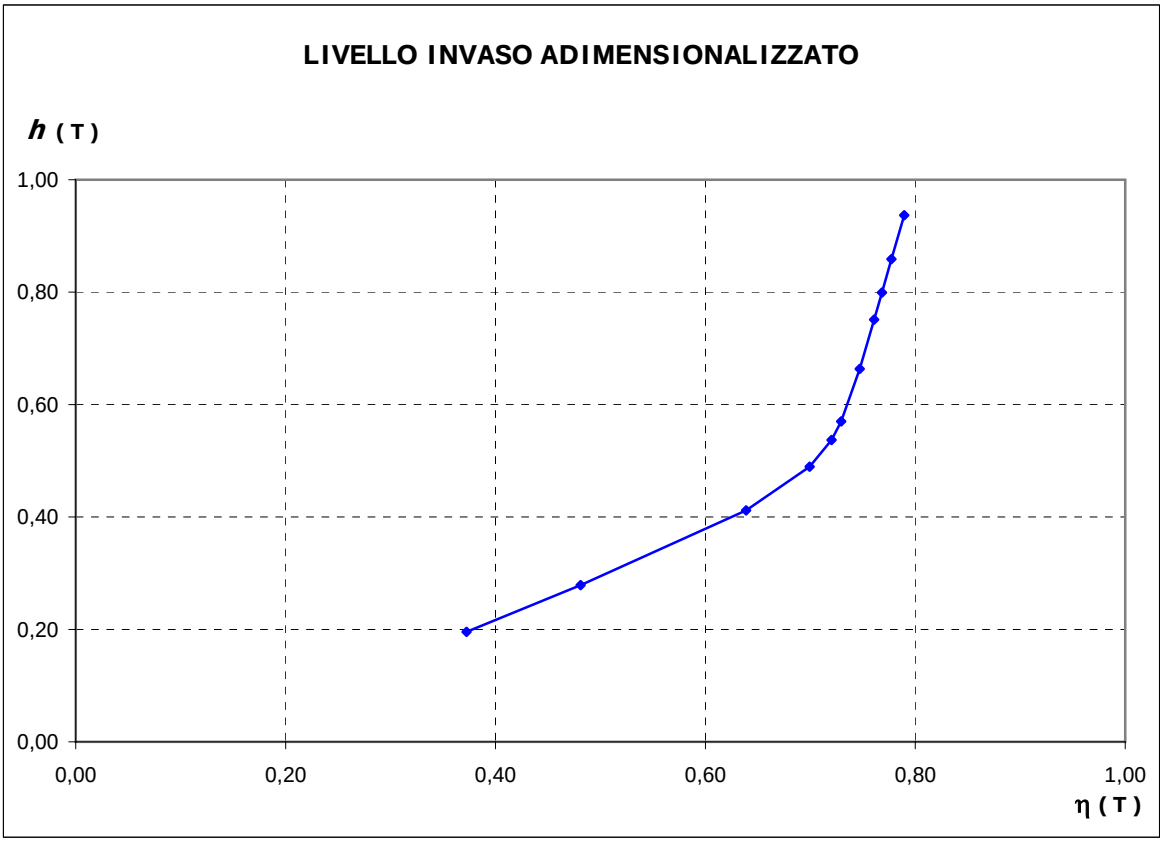



CURVA DI POSSIBILITA' DI LAMINAZIONE
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE η (T)
η (T)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]

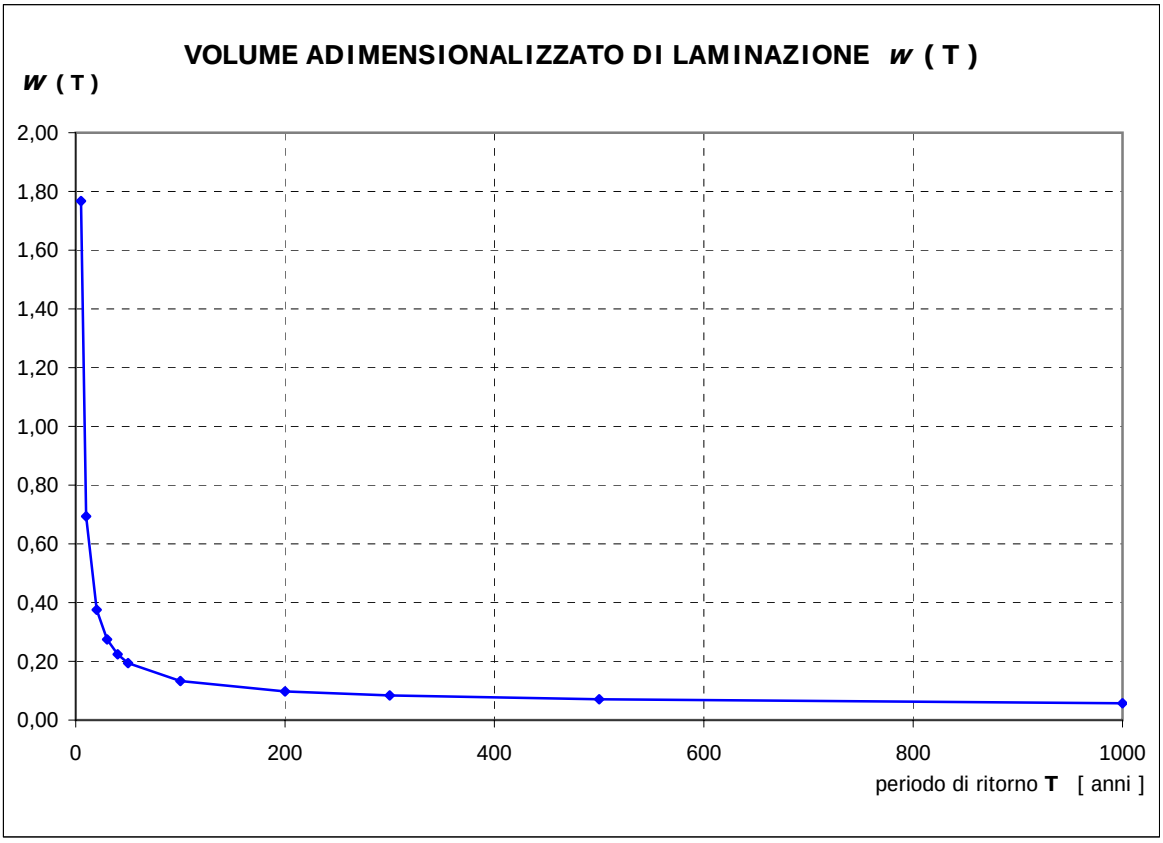

DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' CUMULATA
portata Q max
[m³/s]
350,00
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T
[anni]
DPC - in entrata
DPC - in uscita

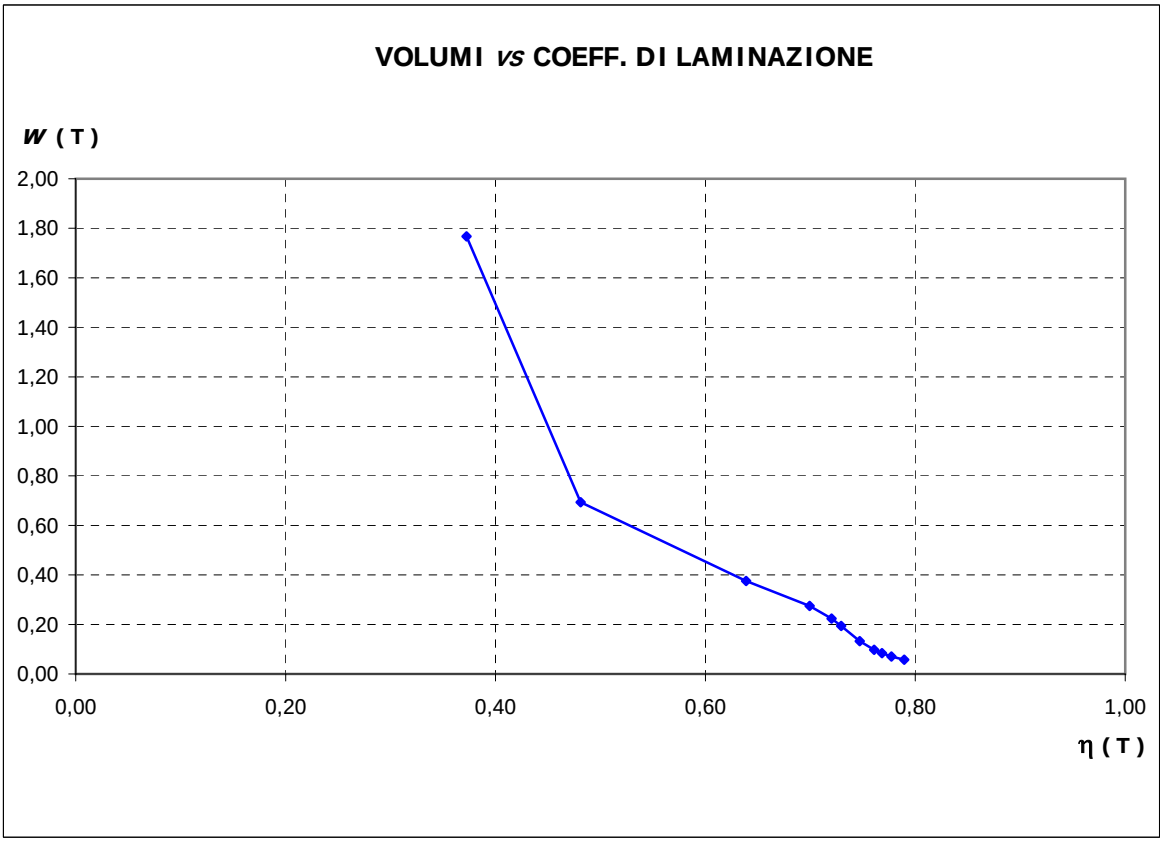
DIGA DI CAMPLICCIOLI





DIGA DI CAMPLICCIOLI





DIGA DI CAMPOSECCO

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 7,28 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,29	9,39	3,35	0,356	0,07	10,4	19,2	1,850	0,264
10	1,81	13,18	5,92	0,450	0,10	37,8	28,0	0,740	0,386
20	2,62	19,07	11,26	0,591	0,15	103,8	42,8	0,412	0,589
30	3,20	23,30	15,21	0,653	0,18	169,3	52,2	0,308	0,719
40	3,63	26,43	17,90	0,678	0,20	228,4	58,1	0,255	0,800
50	3,96	28,83	19,86	0,689	0,21	280,0	62,3	0,222	0,857
100	4,99	36,33	25,69	0,707	0,25	478,1	73,8	0,154	1,016
200	6,03	43,90	31,54	0,719	0,29	737,7	84,5	0,115	1,163
300	6,63	48,27	34,95	0,724	0,31	916,0	90,5	0,099	1,245
500	7,39	53,80	39,40	0,732	0,34	1173,1	97,9	0,083	1,347
1000	8,42	61,30	45,60	0,744	0,37	1578,9	107,9	0,068	1,484
84	*4,81*	*35,03*	*25,06*	*0,715*	*0,25*	*439,6*	*72,6*	*0,165*	*0,999*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,56 #

area totale del bacino **A** = 4,08 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,41 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,497 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 1,005 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,44 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 2312,10 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 2335,00 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 5,686 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 0,146 Mm³

esponente **m1** = 1,170 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 2334,75 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 5,62 Mm³

carico massimo sulla soglia: 0,25 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 204,600 m³/s

esponente **n1** = 1,514 #

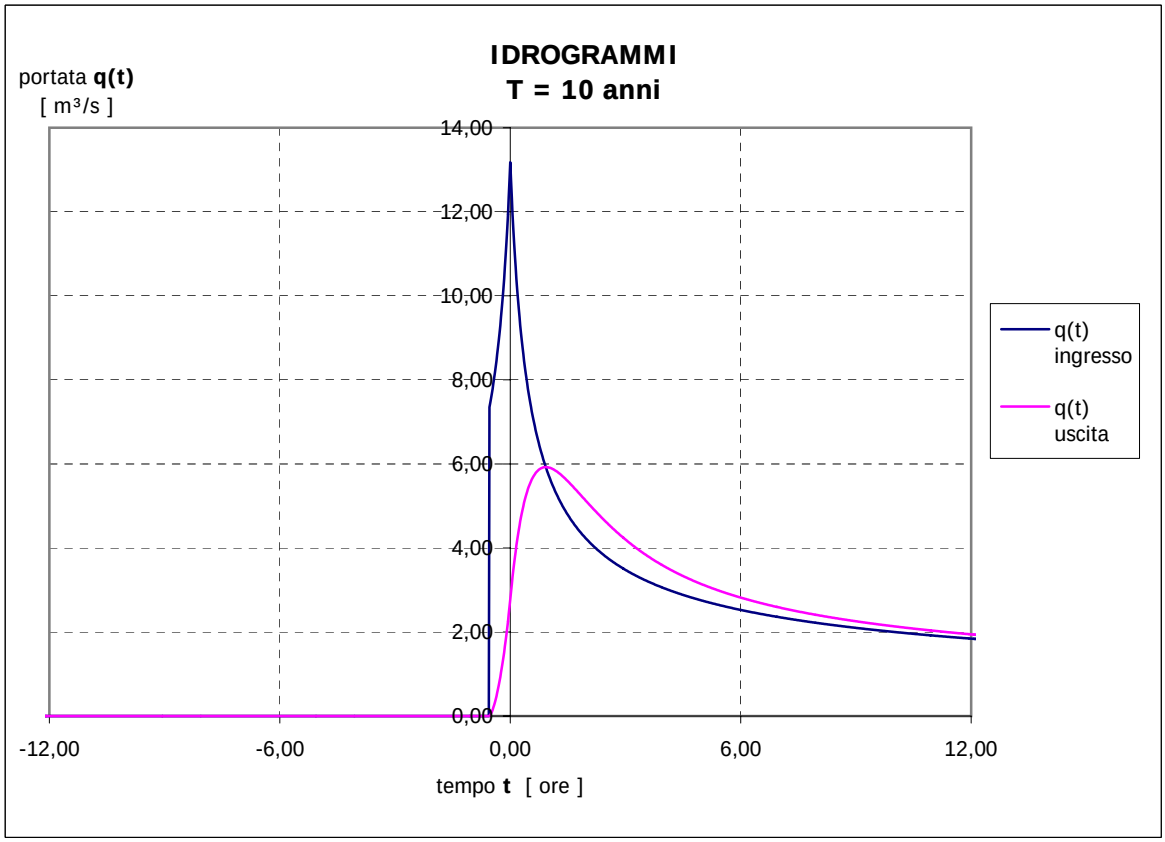
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

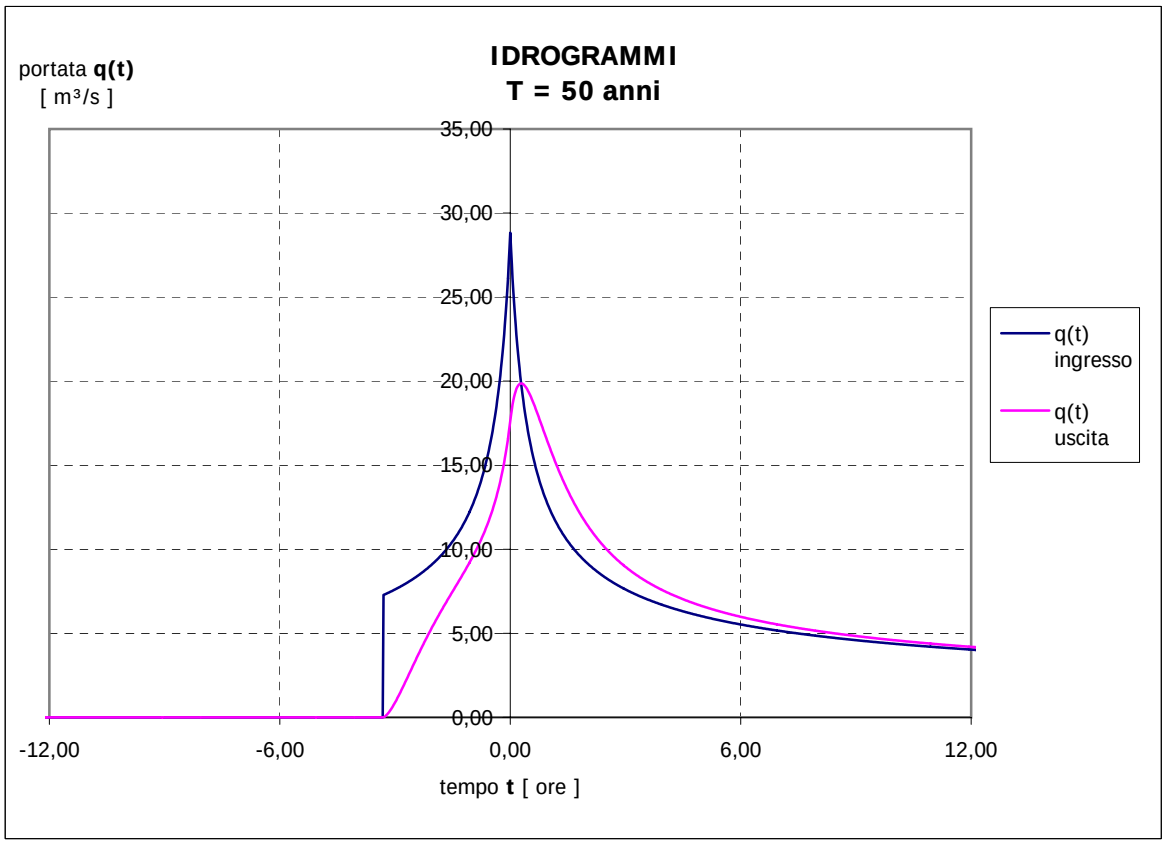
portata al colmo Q_T = **35,03** m³ / s

fattore di crescita K_T = 4,81

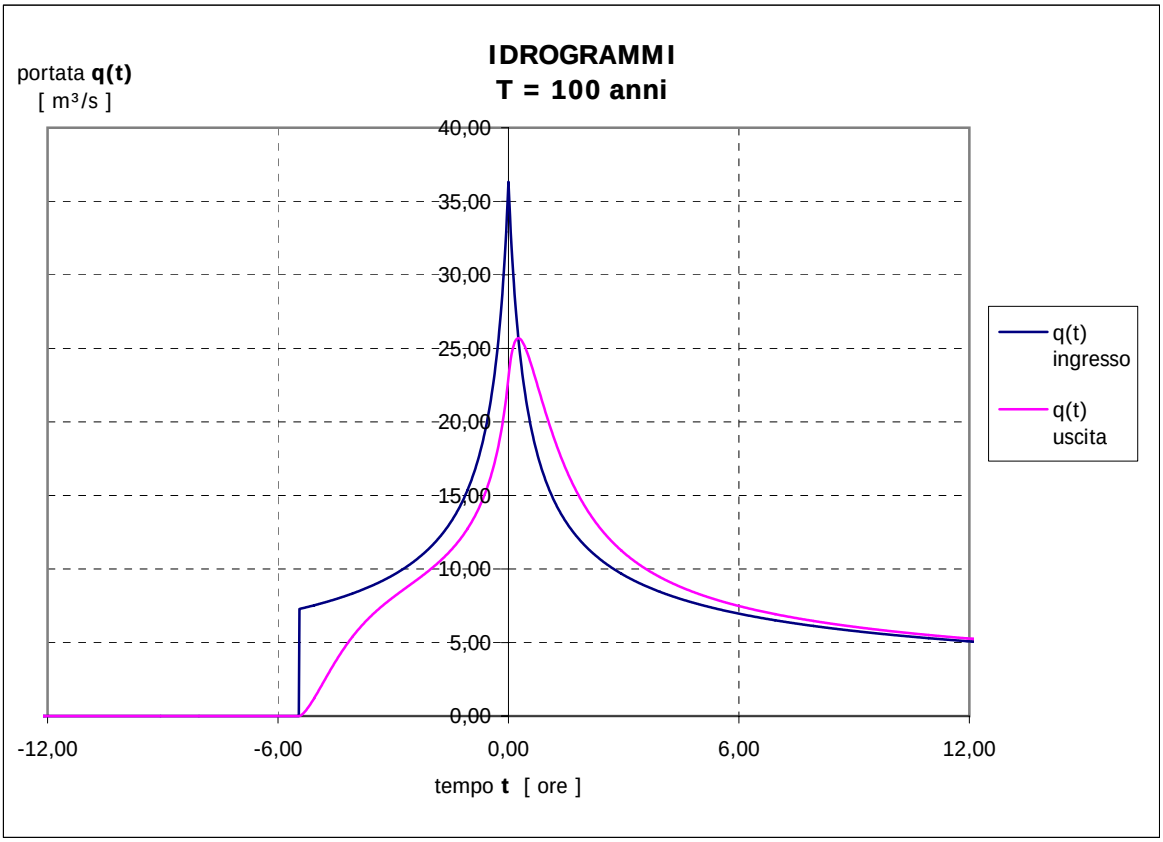
tempo di ritorno stimato **T** = 84,1 anni

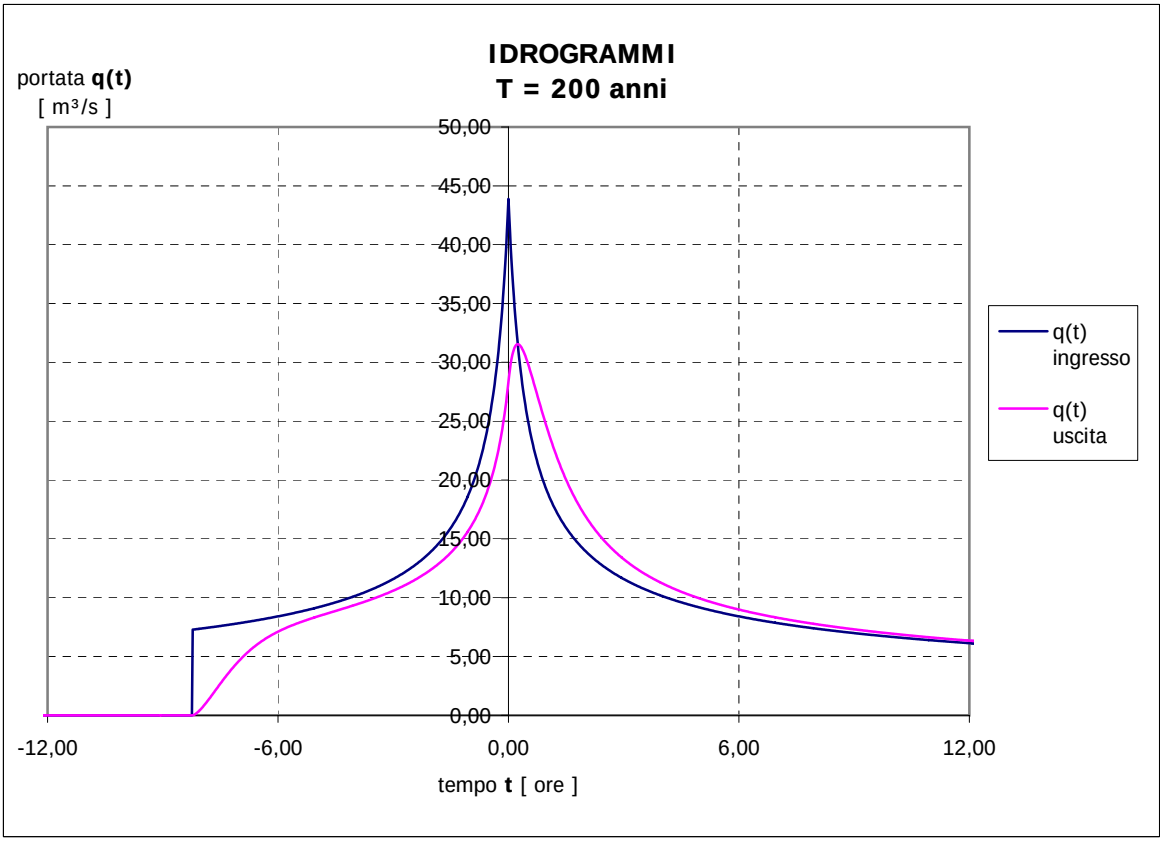
DIGA DI CAMPOSECCO



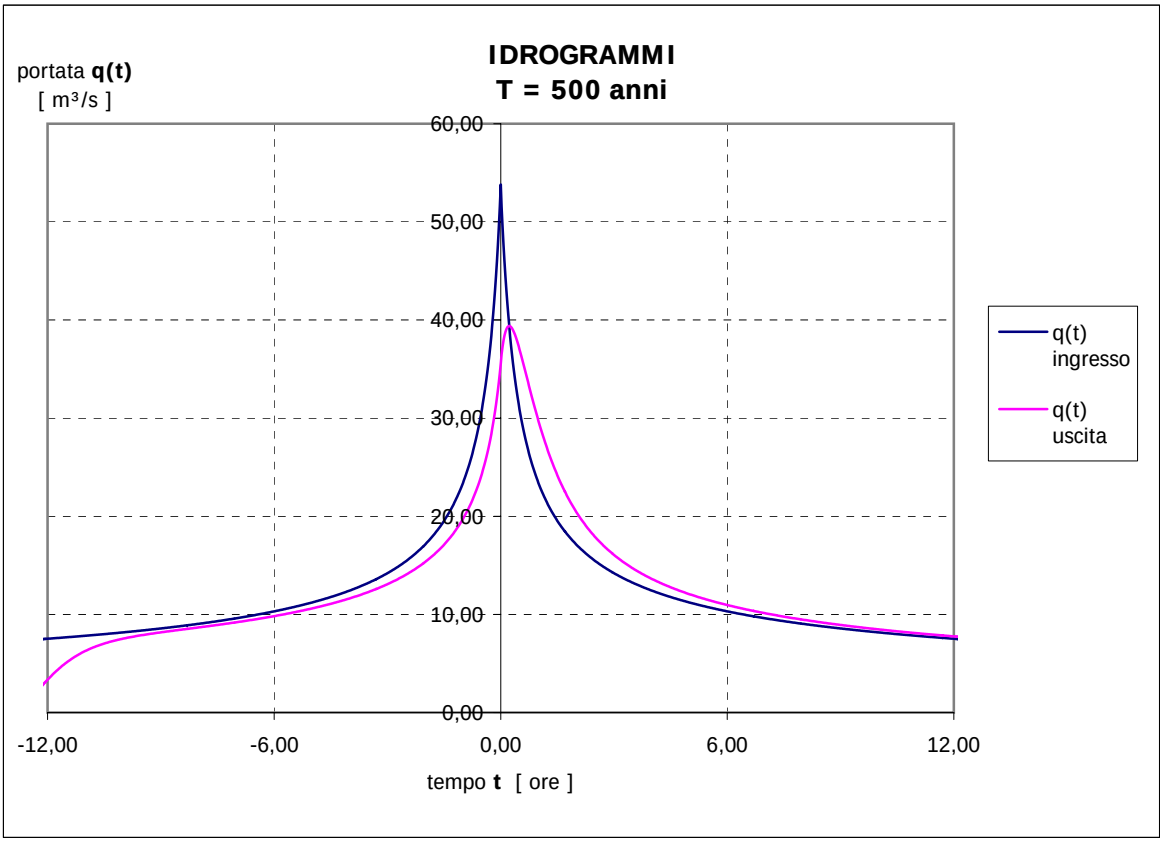


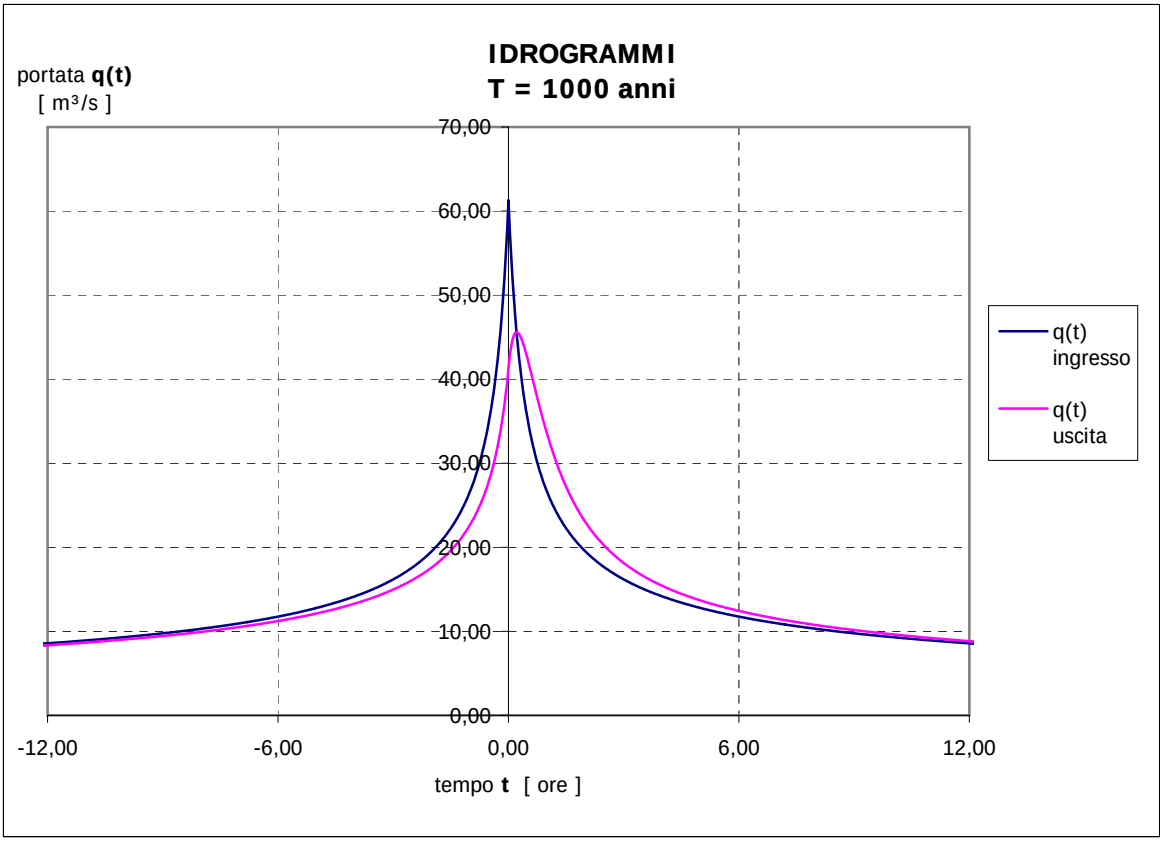
DIGA DI CAMPOSECCO



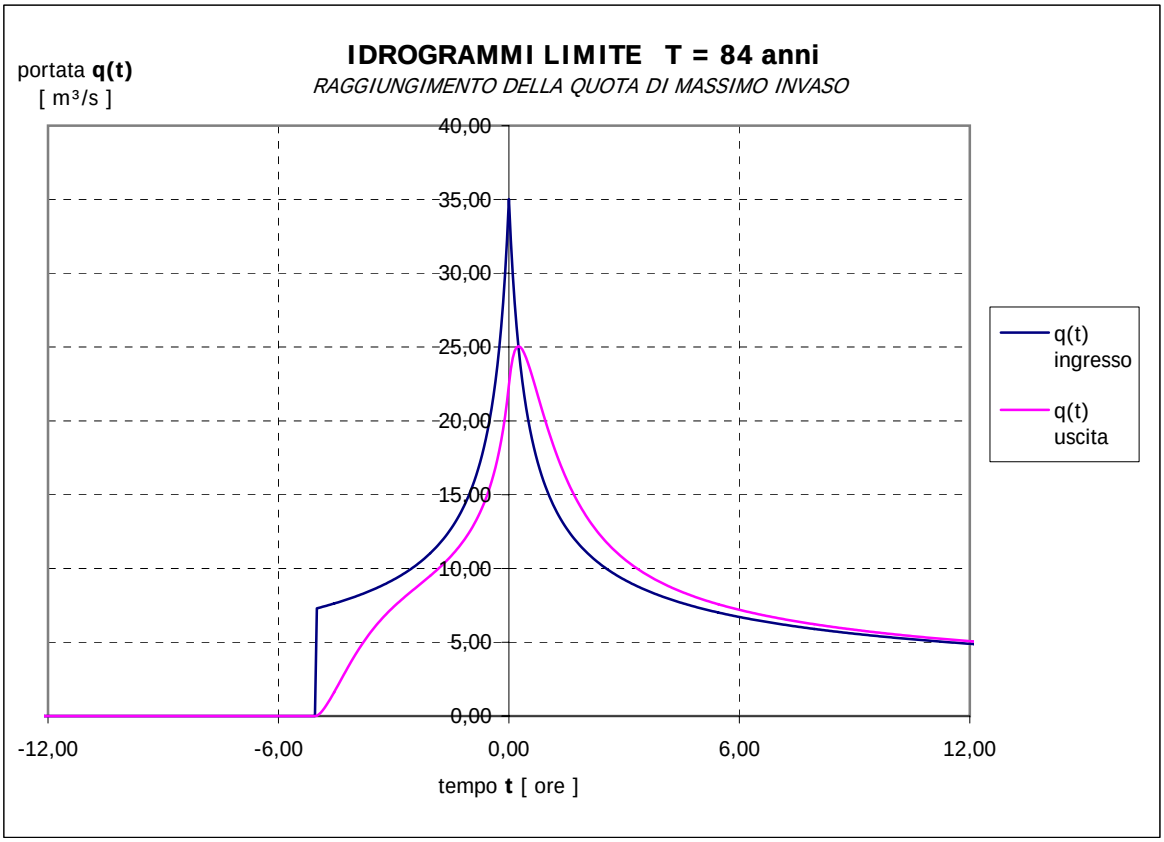


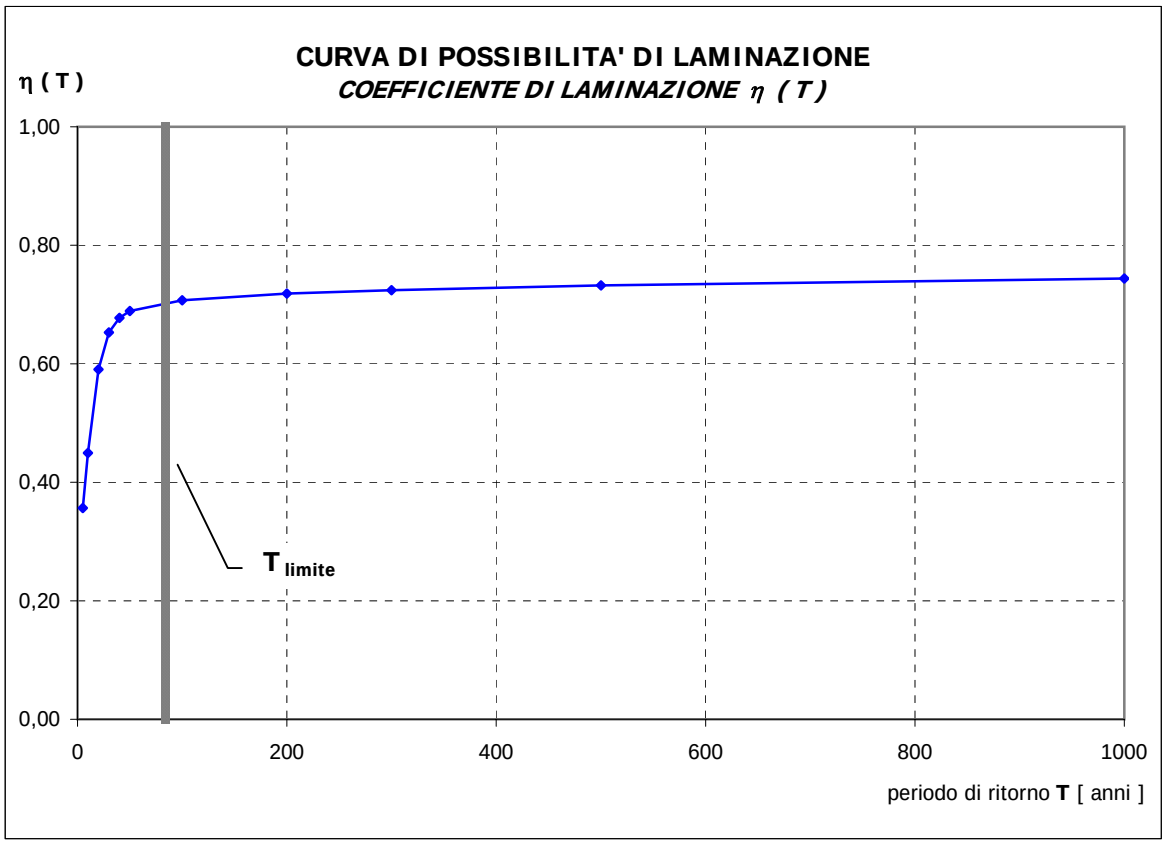
DIGA DI CAMPOSECCO

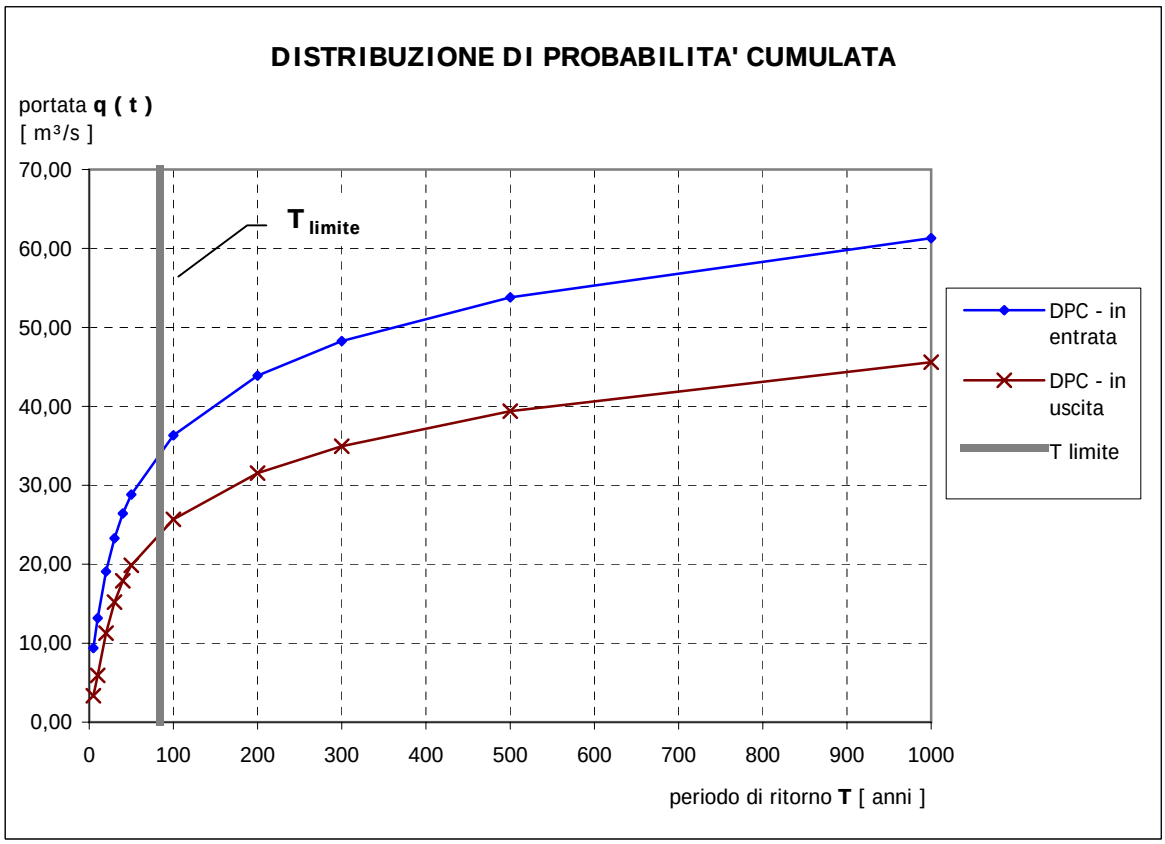


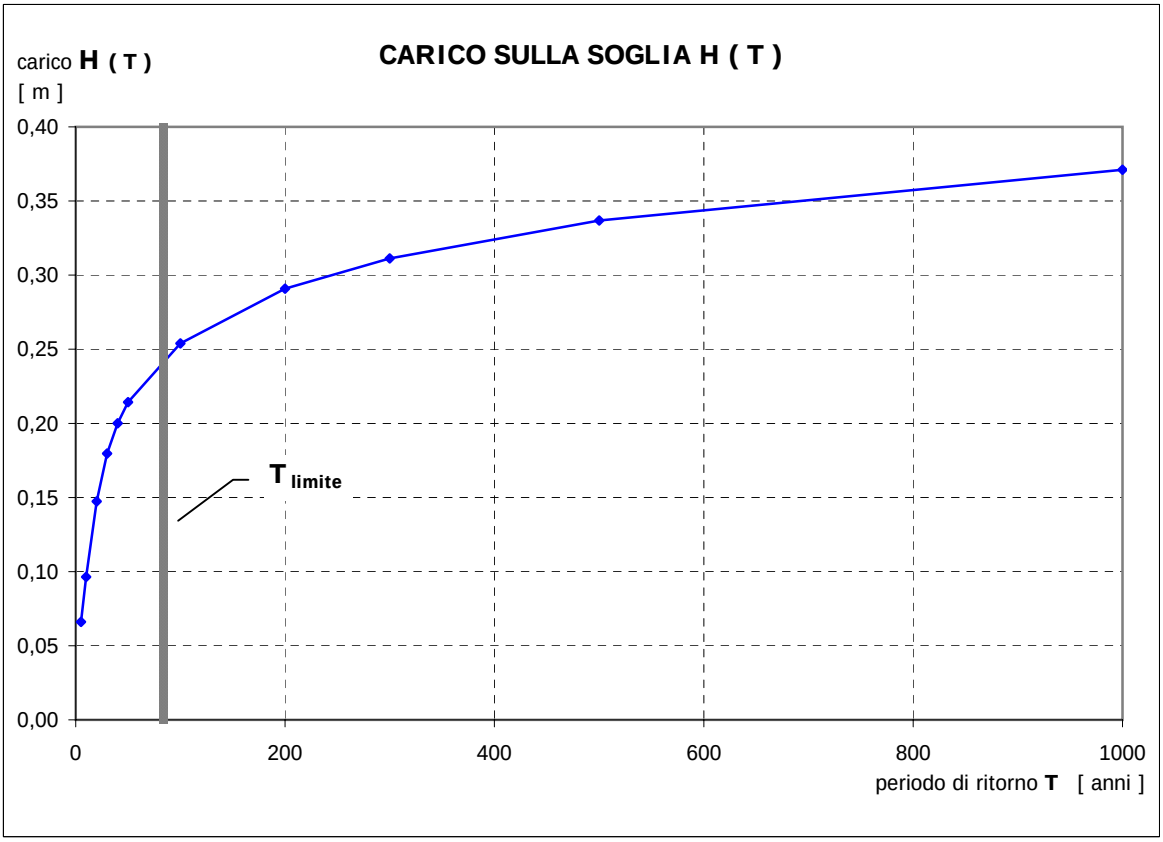


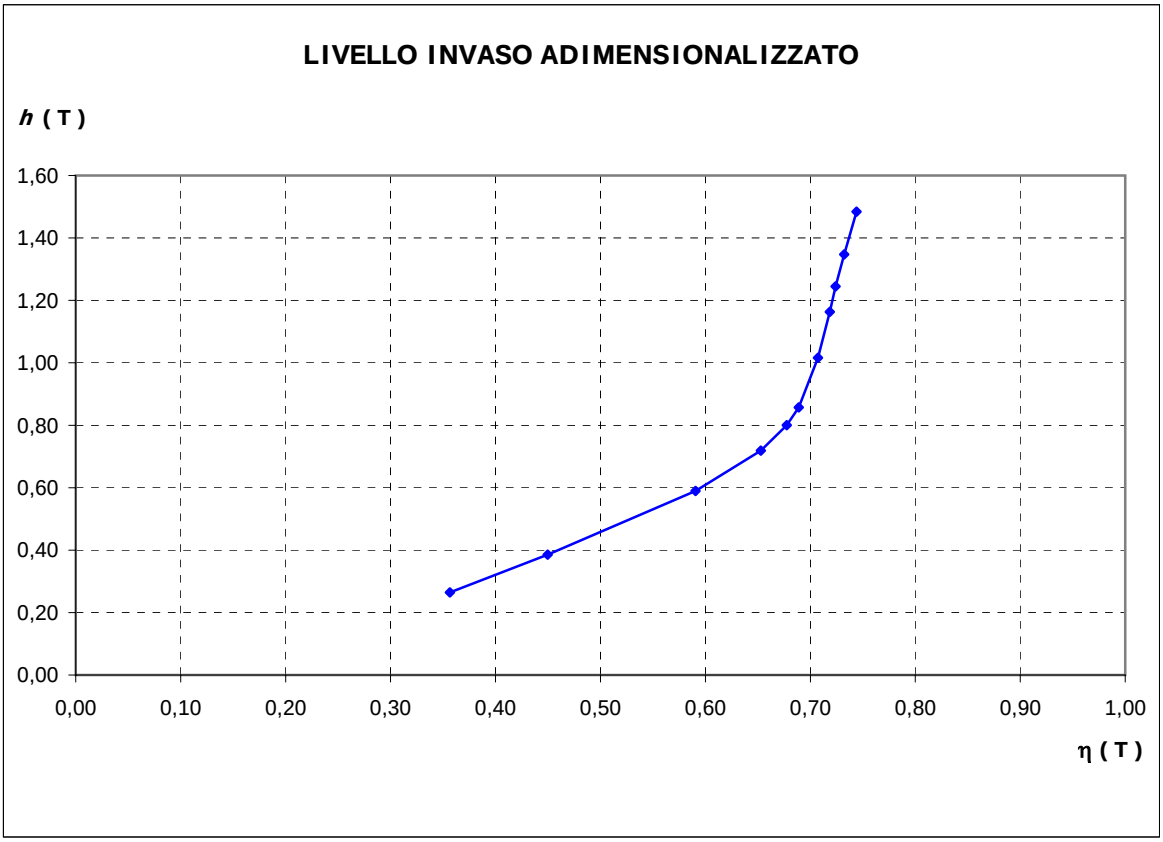
DIGA DI **CAMPOSECCO**

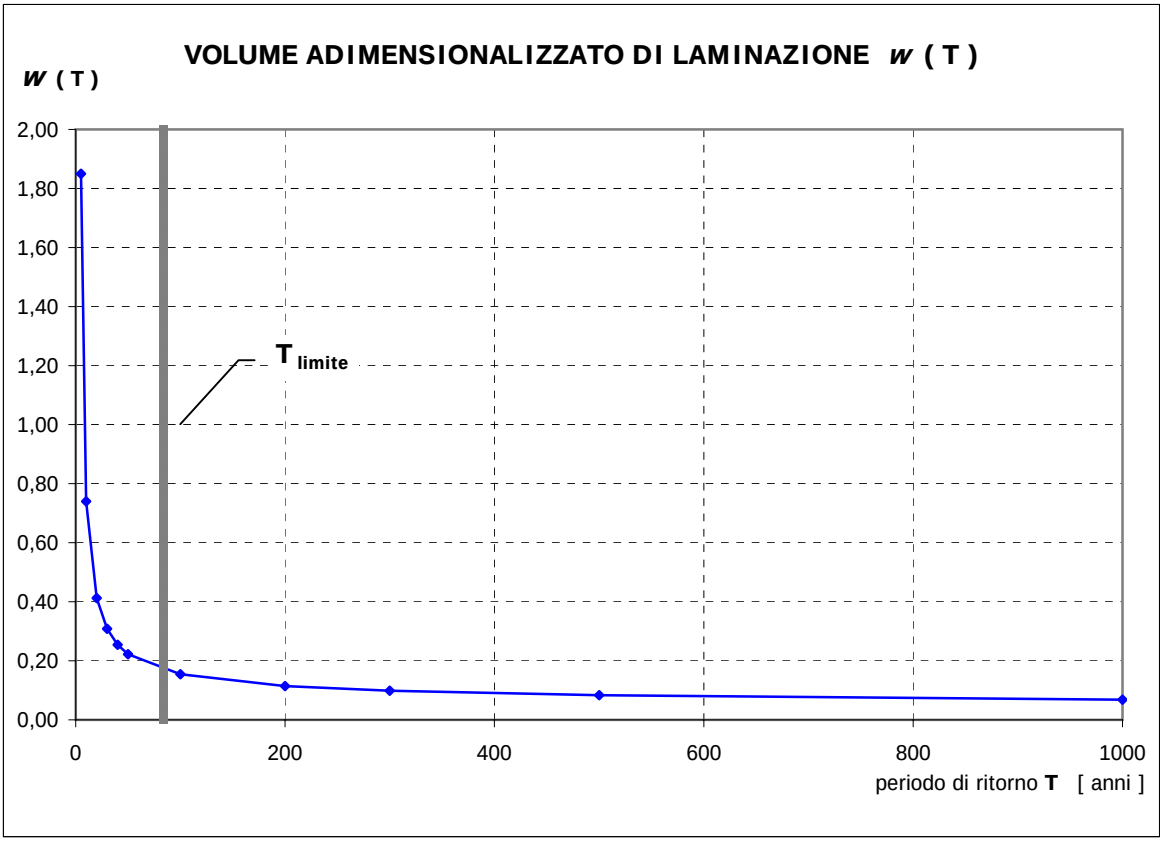


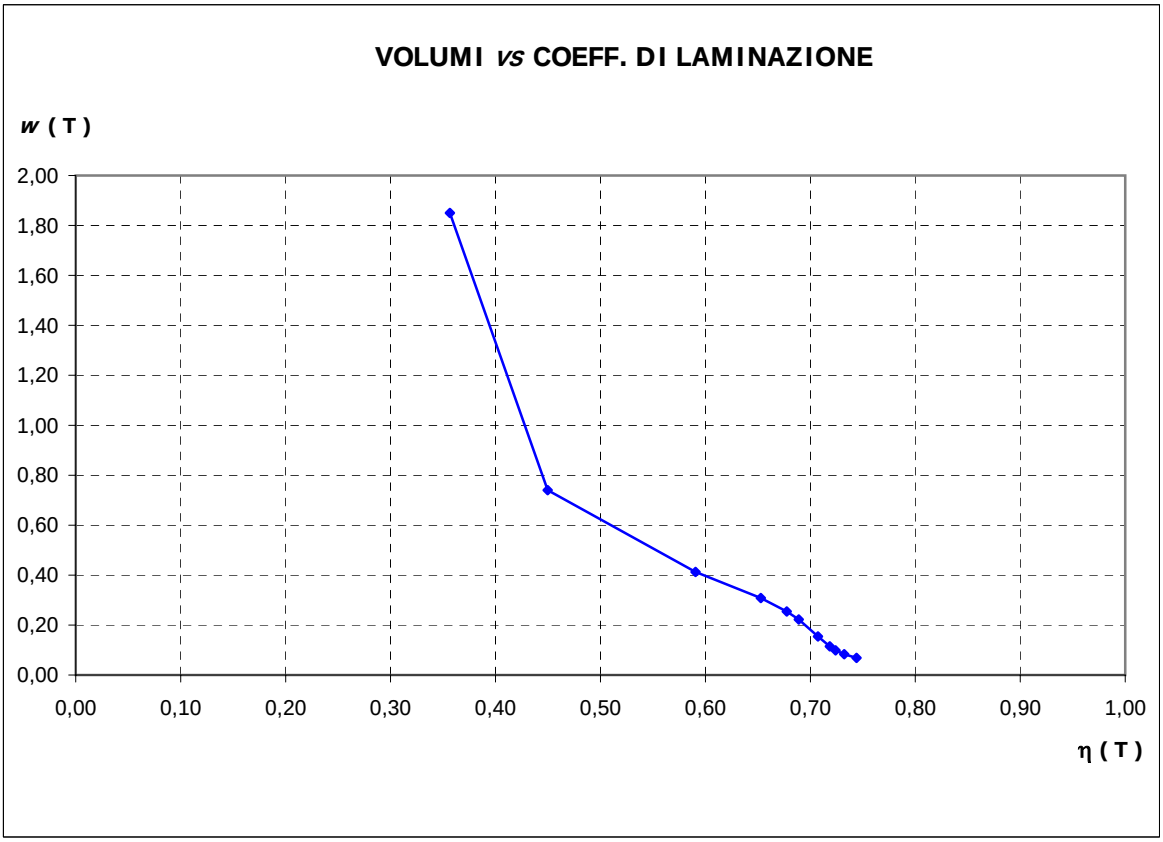

CURVA DI POSSIBILITA' DI LAMINAZIONE
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE η (T)
η (T)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
200
400
600
800
1000
T limite
periodo di ritorno T [anni]


DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' CUMULATA
portata q (t)
[m³/s]
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
T limite
periodo di ritorno T [anni]
DPC - in entrata
DPC - in uscita
T limite


CARICO SULLA SOGLIA H (T)
carico H (T)
[m]
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]
T limite


LIVELLO INVASO ADIMENSIONALIZZATO
h (T)
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
0,90
1,00
η (T)


VOLUME ADIMENSIONALIZZATO DI LAMINAZIONE w (T)
w (T)
2,00
1,80
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
T limite
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]


VOLUMI vs COEFF. DI LAMINAZIONE
w (T)
2,00
1,80
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
0,90
1,00
η (T)

DIGA DI CEPPO MORELLI

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 97,248 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,28	124,48	123,20	0,990	0,81	561,5	41,0	0,073	0,477
10	1,83	177,96	176,50	0,992	1,01	2204,3	51,6	0,023	0,596
20	2,71	263,54	261,94	0,994	1,29	6362,4	66,5	0,010	0,761
30	3,34	324,81	323,15	0,995	1,47	10570,3	76,3	0,007	0,867
40	3,79	368,57	366,88	0,995	1,59	14245,1	82,9	0,006	0,938
50	4,15	403,58	401,88	0,996	1,69	17603,1	88,0	0,005	0,992
100	5,25	510,55	508,82	0,997	1,95	30277,3	102,9	0,003	1,148
200	6,34	616,55	614,82	0,997	2,20	46616,4	116,7	0,003	1,291
300	6,98	678,79	677,06	0,997	2,33	58050,5	124,5	0,002	1,371
500	7,78	756,59	754,87	0,998	2,49	74329,5	133,9	0,002	1,467
1000	8,87	862,59	860,89	0,998	2,70	100176,6	146,4	0,001	1,591
48	*4,20*	*408,73*	*407,02*	*0,996*	*1,70*	*18129,3*	*88,7*	*0,005*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,56 #

area totale del bacino **A** = 121,00 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,82 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 2,099 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,238 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,44 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 750,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 782,50 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 0,550 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 6,198E-06 Mm³

esponente **m1** = 3,273 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 780,80 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 0,46 Mm³

carico massimo sulla soglia: 1,70 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 172,951 m³/s

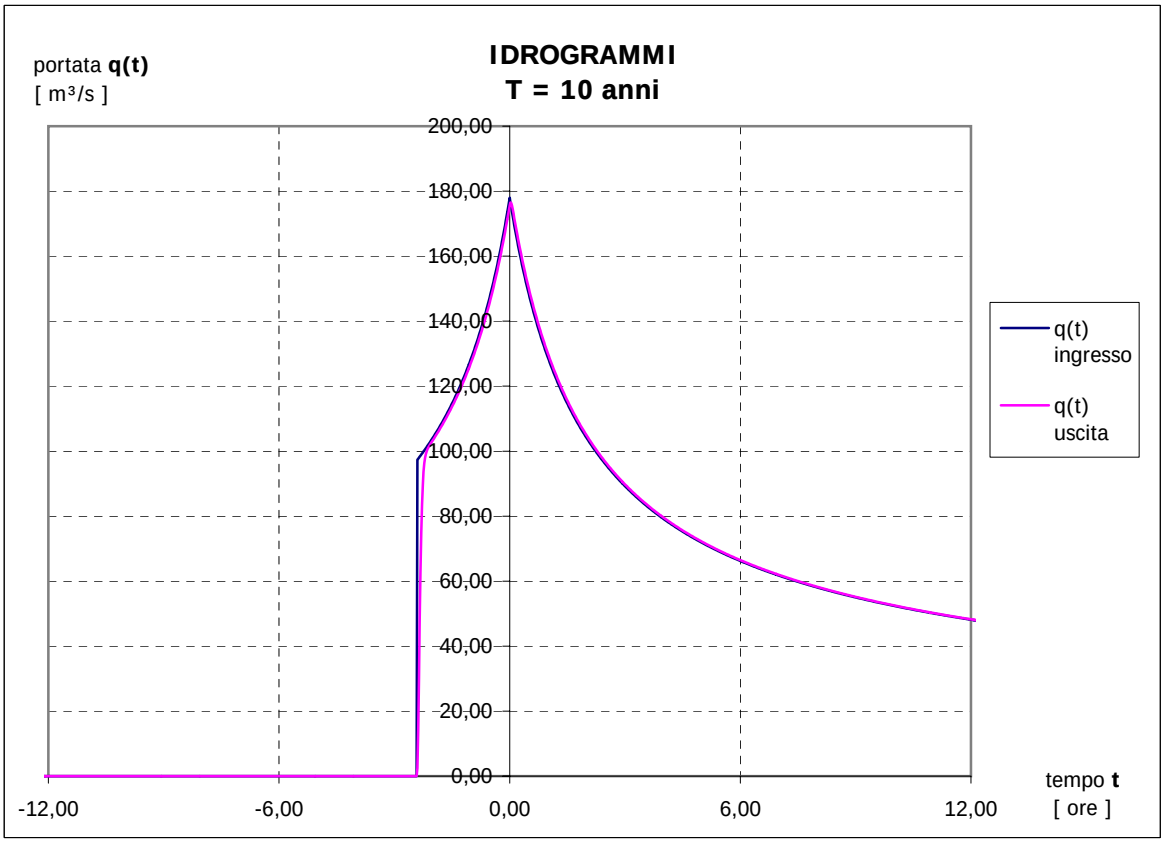
esponente **n1** = 1,613 #

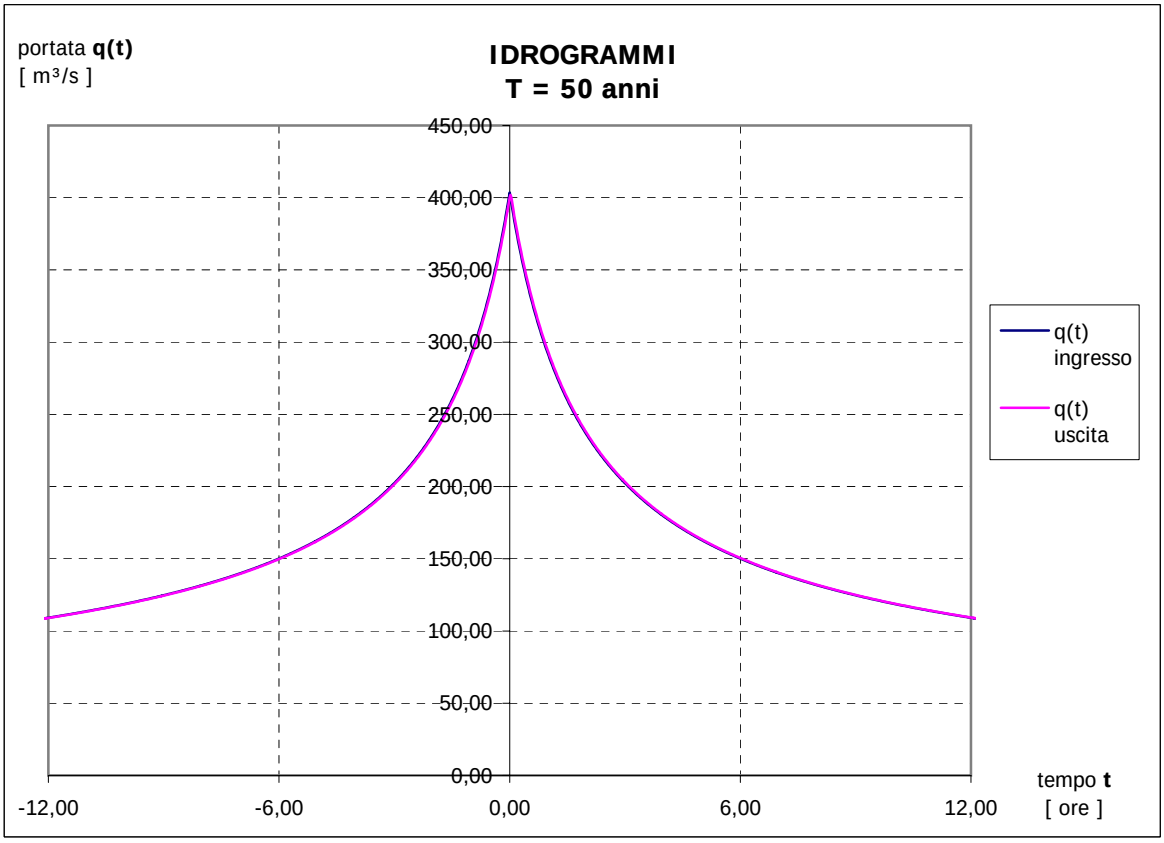
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

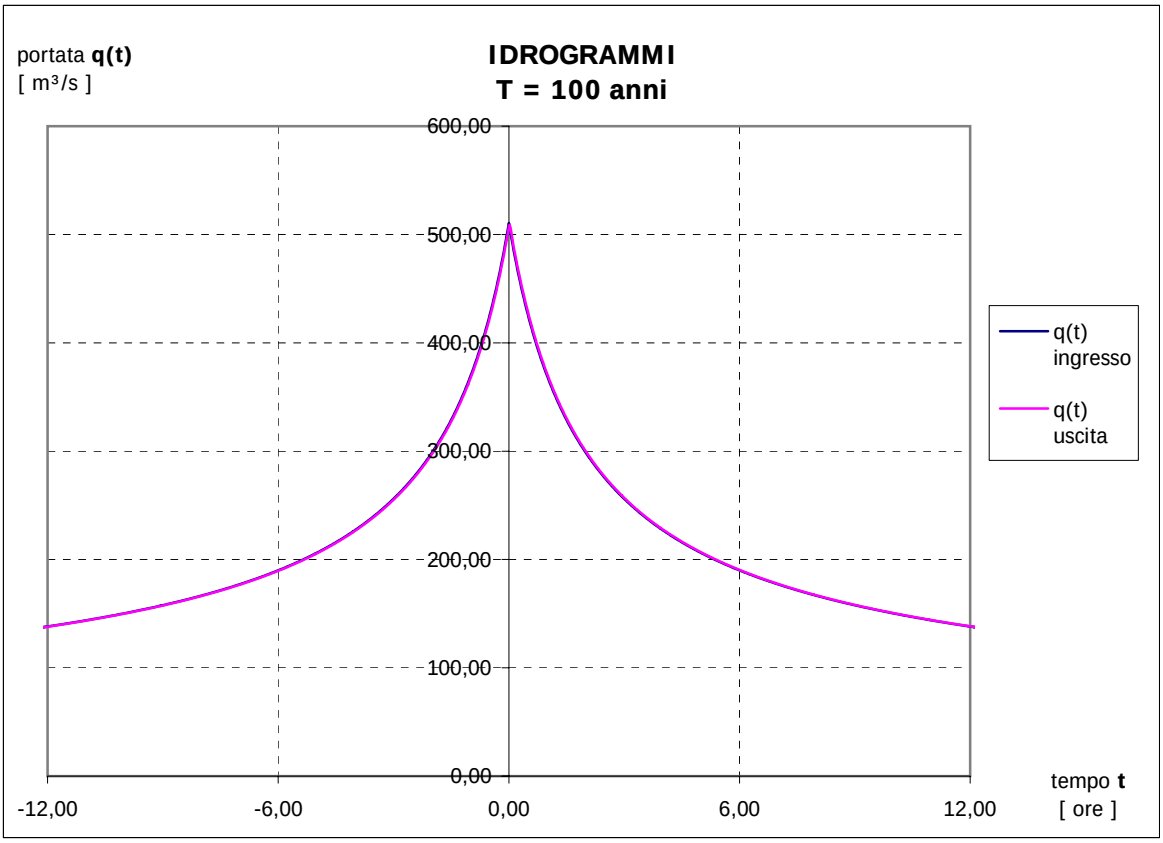
portata al colmo Q_T = **408,73** m³ / s

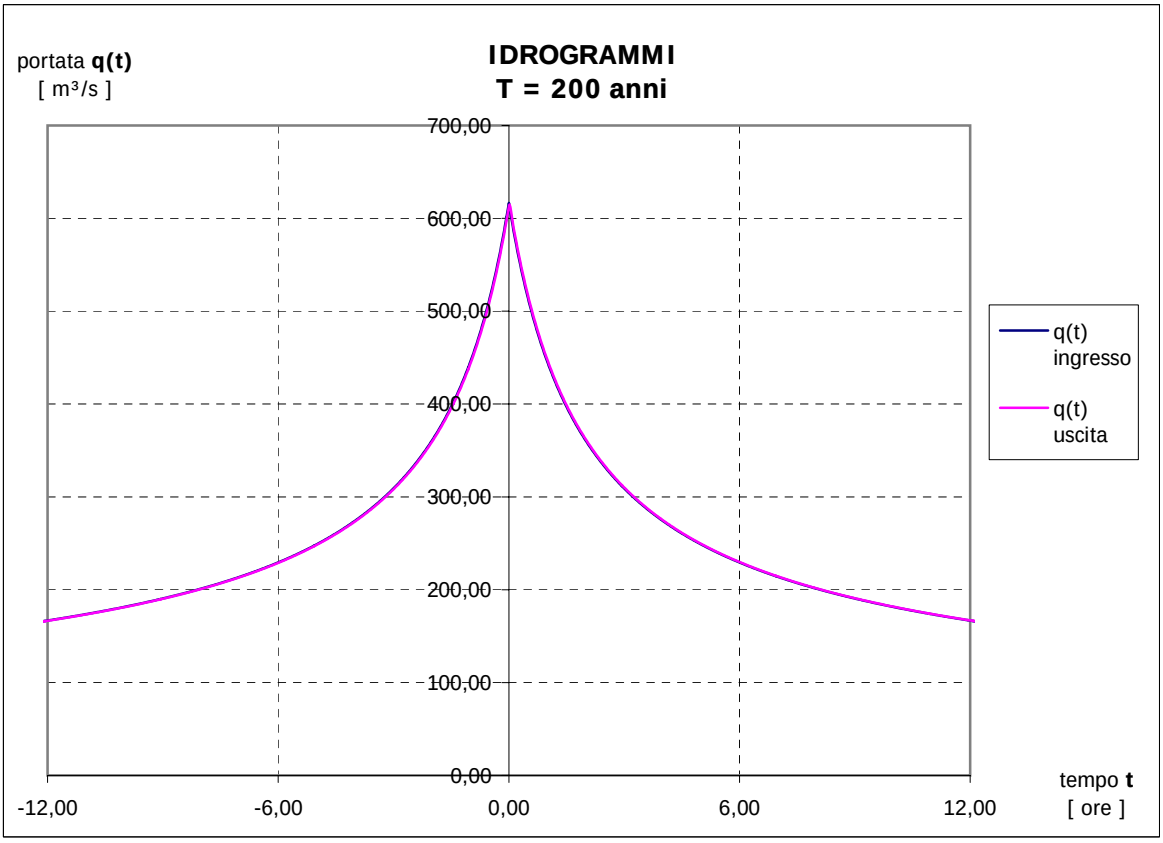
fattore di crescita K_T = 4,20

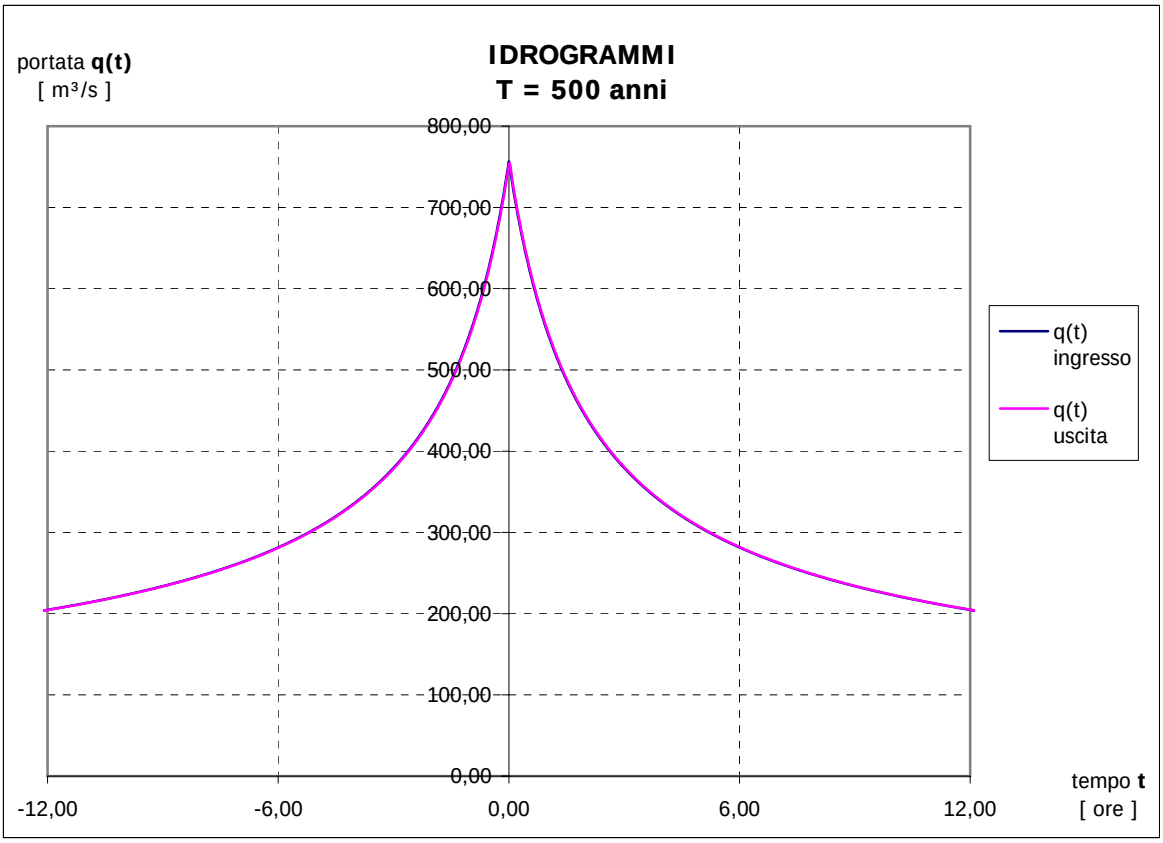
tempo di ritorno stimato **T** = 47,9 anni

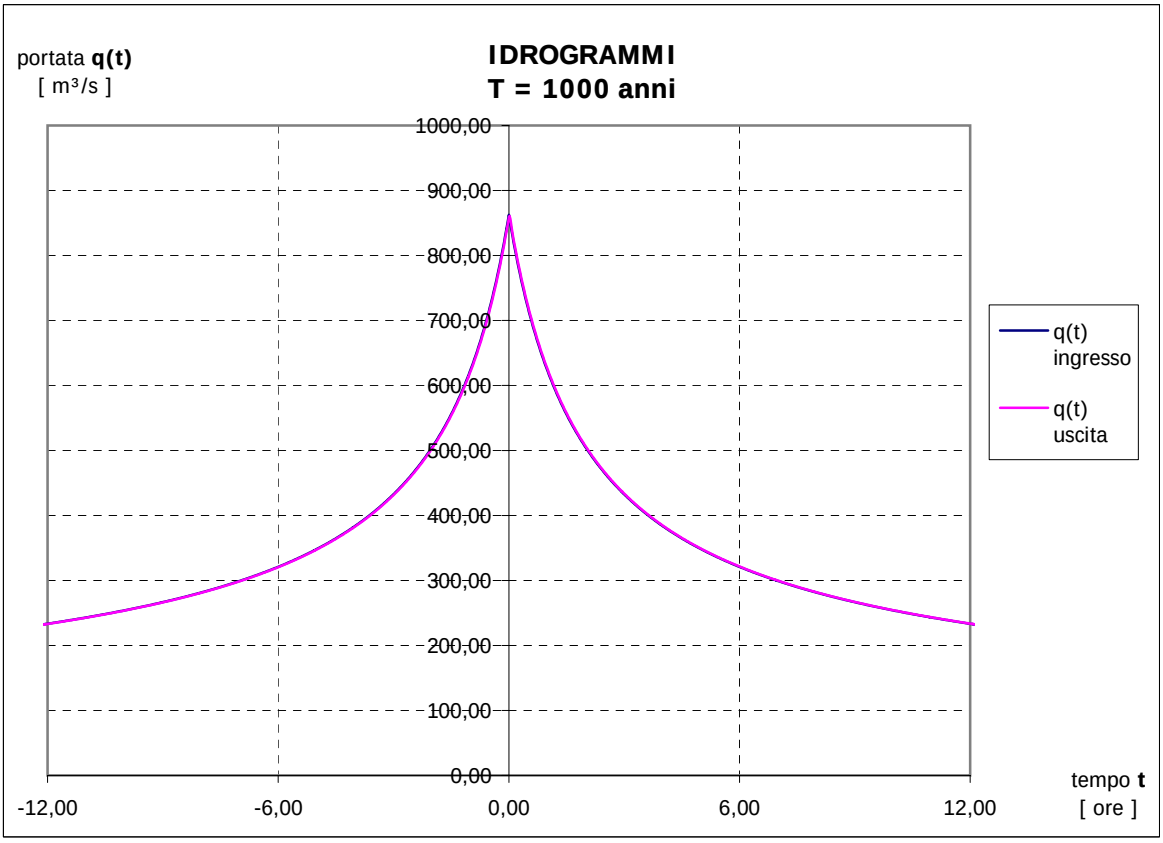

IDROGRAMMI
T = 10 anni
portata q(t)
[m³/s]
200,00
180,00
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


IDROGRAMMI
T = 50 anni
portata q(t)
[m³/s]
450,00
400,00
350,00
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

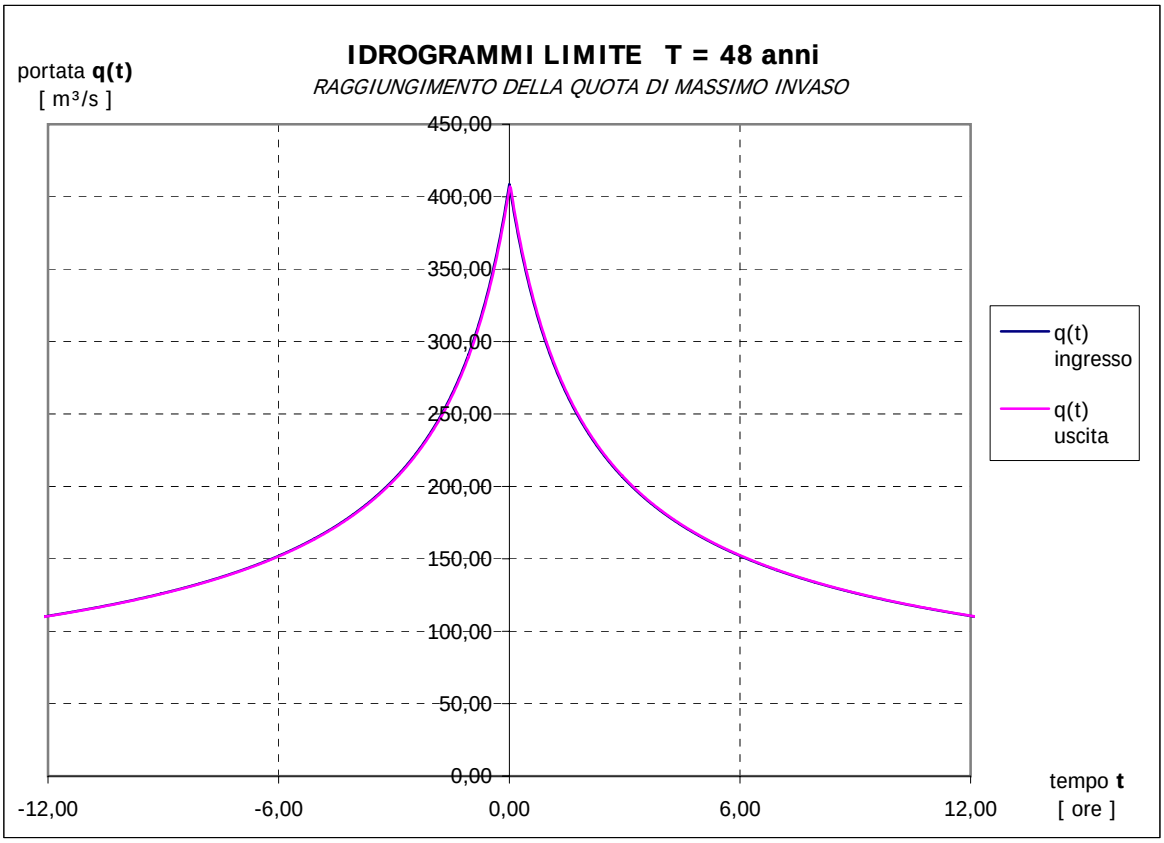

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 100 anni
600,00
500,00
400,00
300,00
200,00
100,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 200 anni
700,00
600,00
500,00
400,00
300,00
200,00
100,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

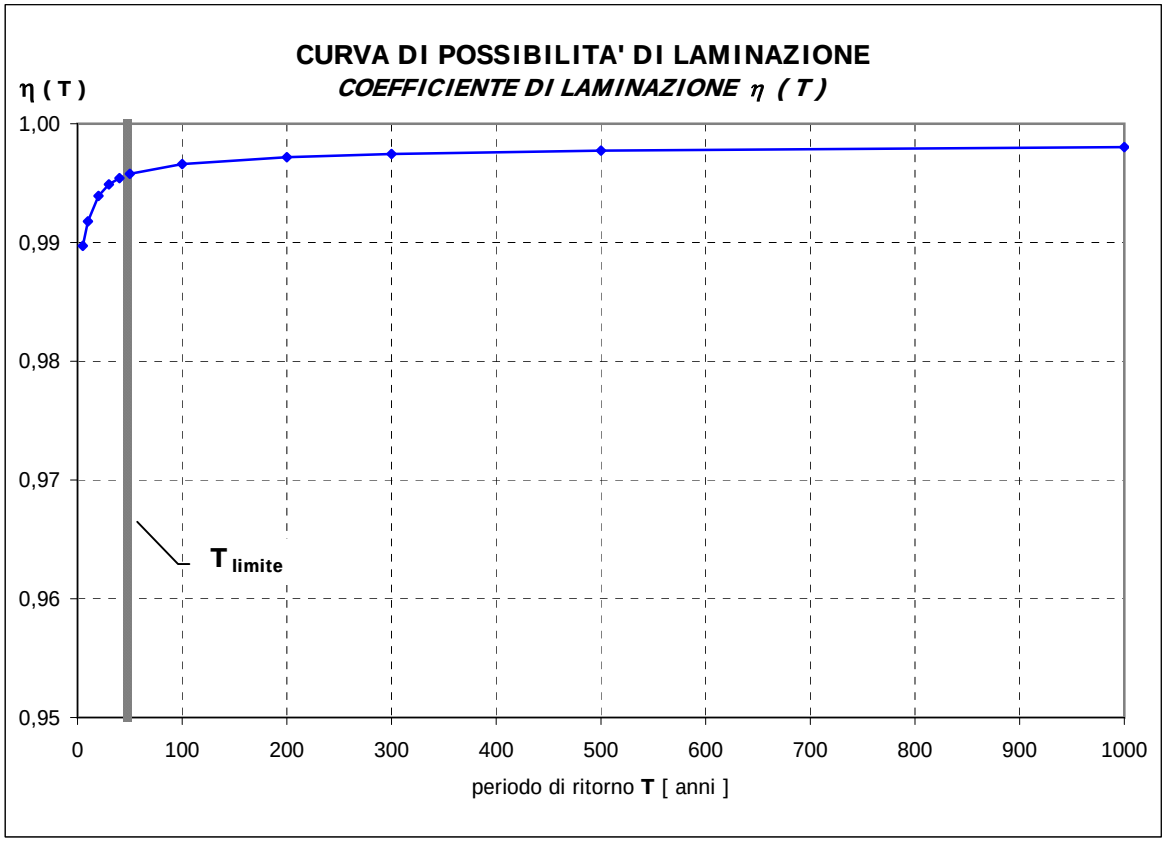

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 500 anni
800,00
700,00
600,00
500,00
400,00
300,00
200,00
100,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

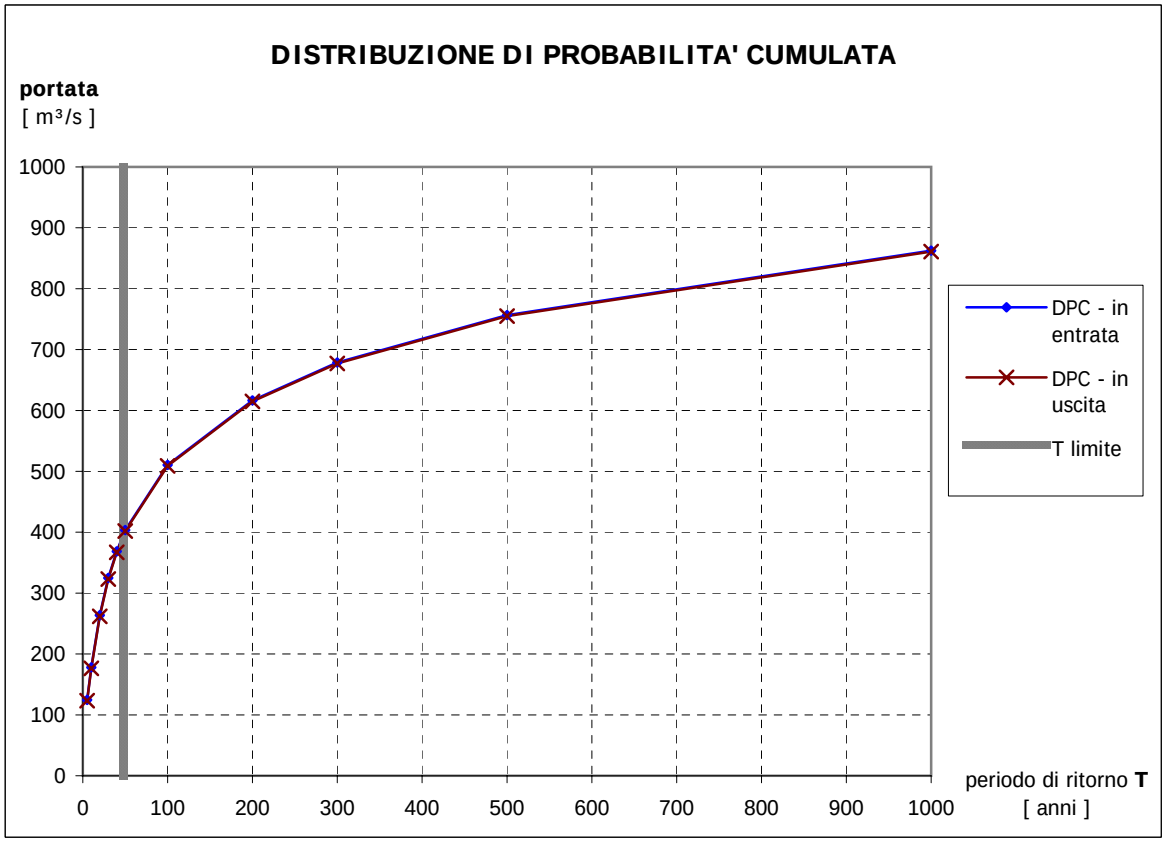

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 1000 anni
1000,00
900,00
800,00
700,00
600,00
500,00
400,00
300,00
200,00
100,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

DIGA DI CEPPO MORELLI

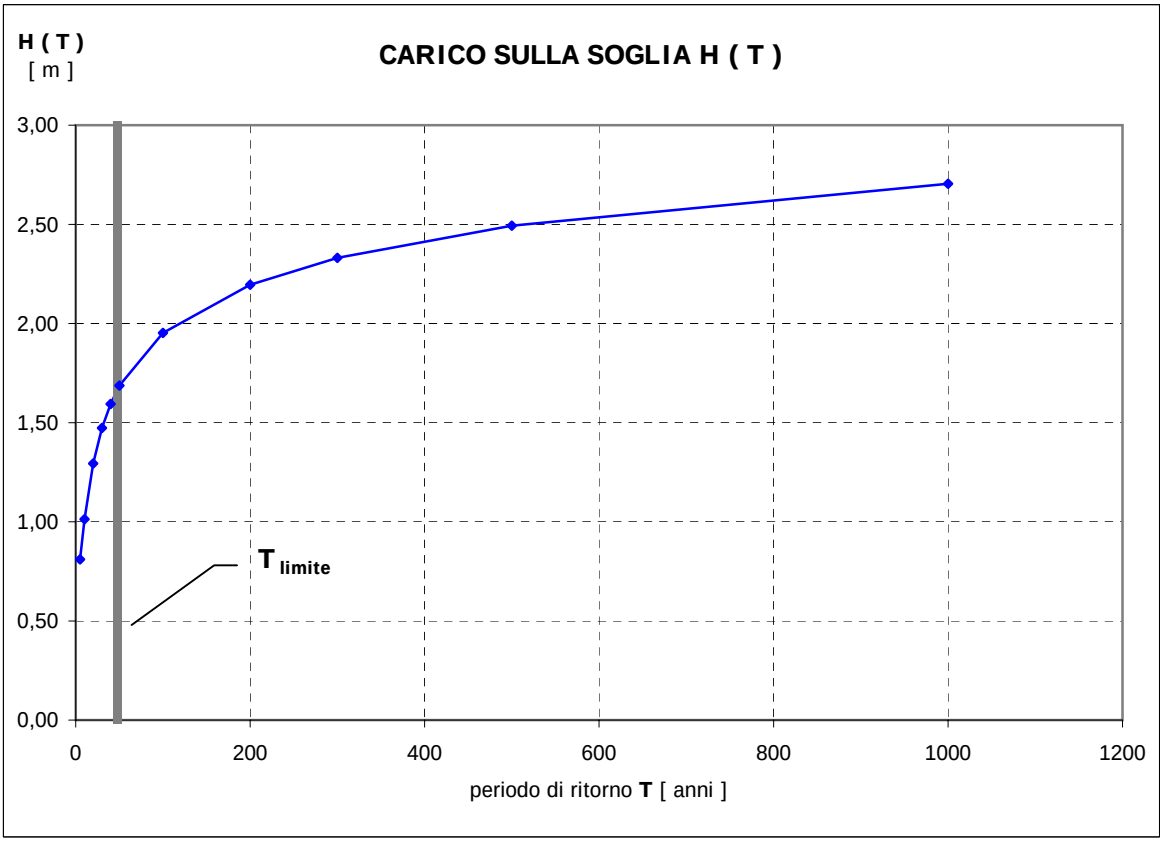


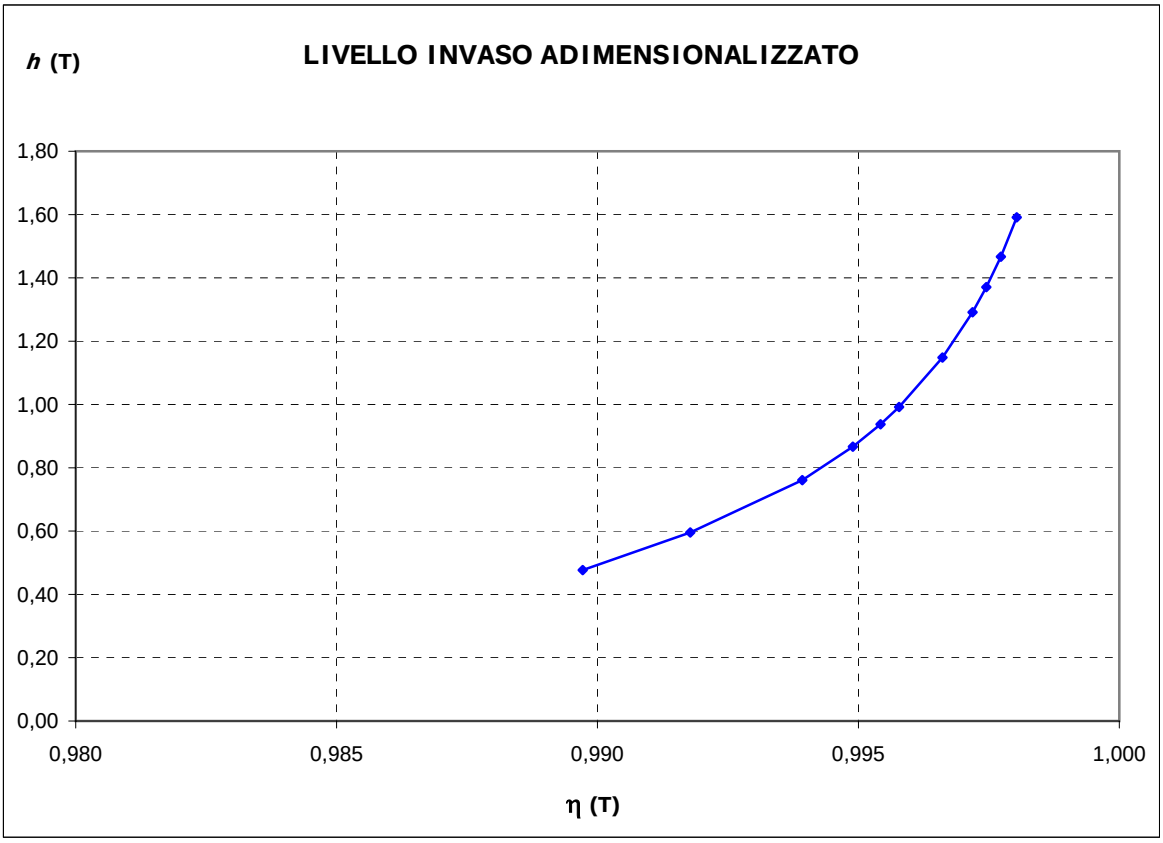
DIGA DI CEPPO MORELLI

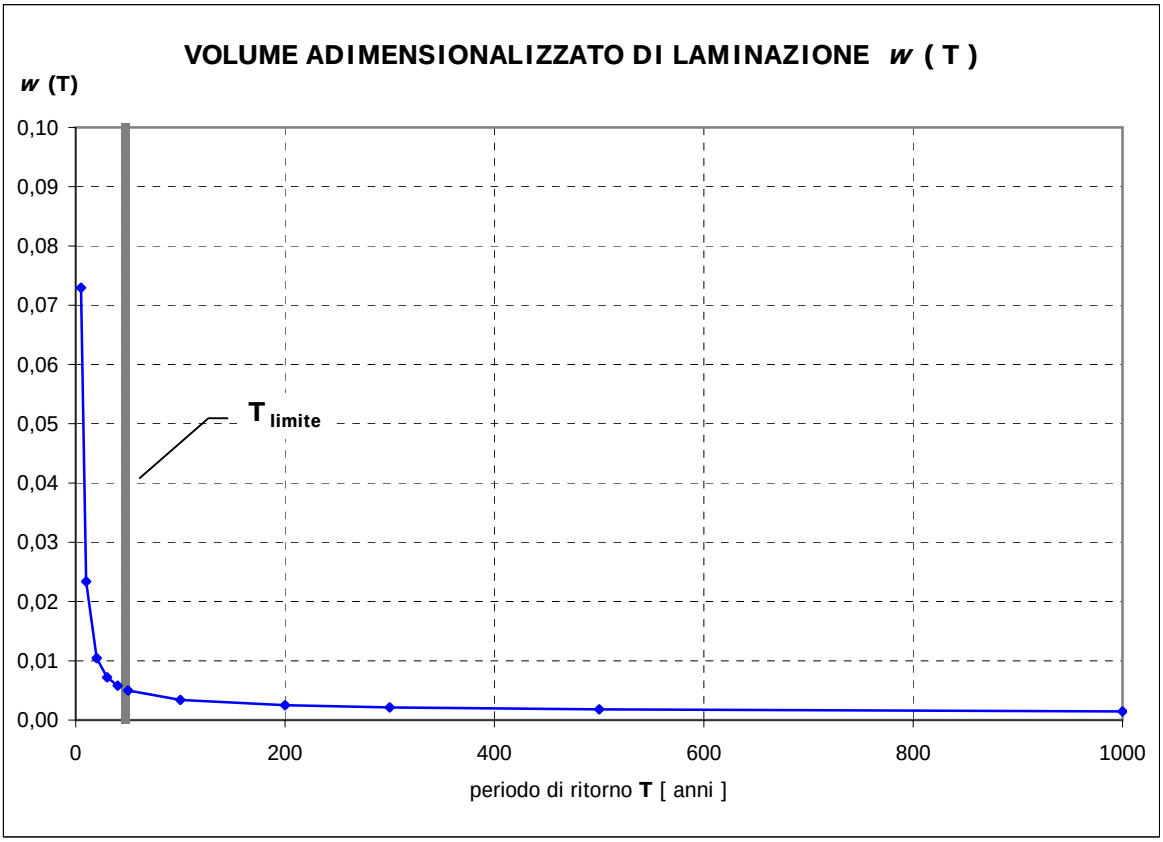


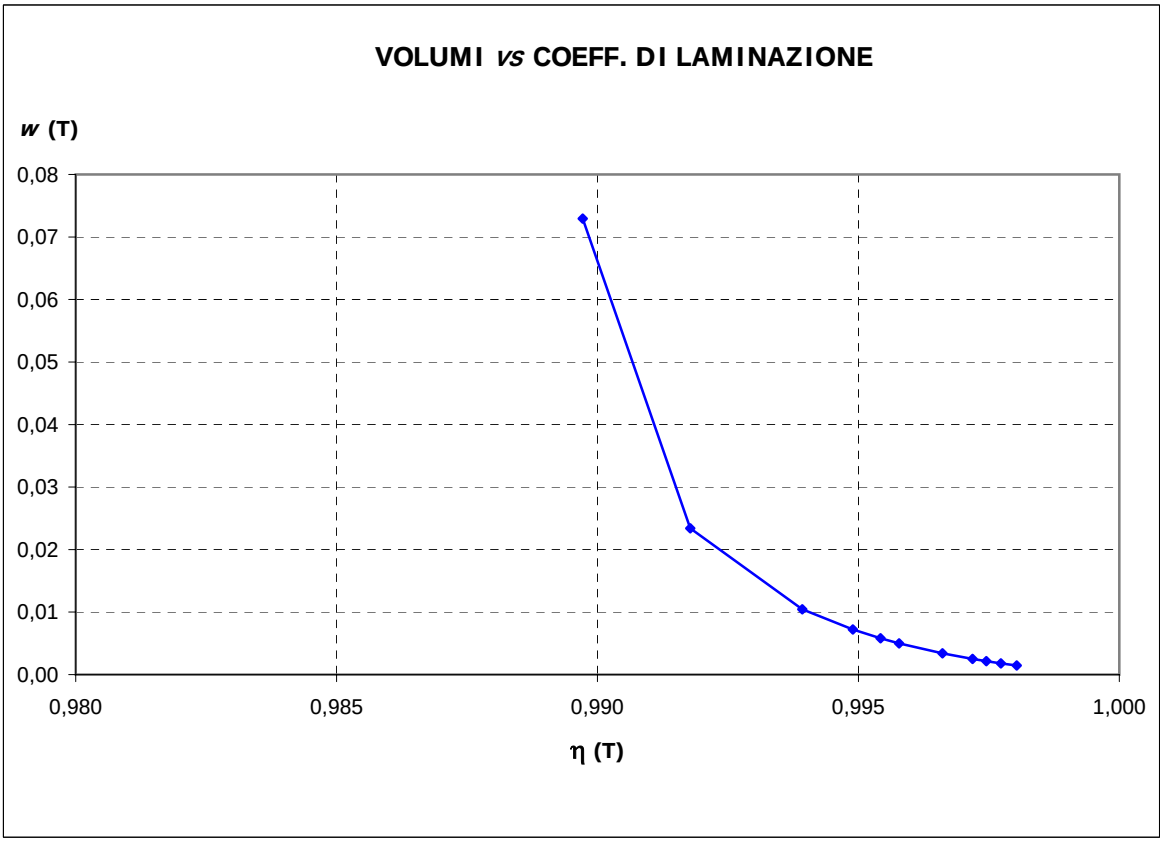


DIGA DI CEPPO MORELLI






VOLUME ADIMENSIONALIZZATO DI LAMINAZIONE w (T)
w (T)
0,10
0,09
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0,00
T limite
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]


VOLUMI vs COEFF. DI LAMINAZIONE
w (T)
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0,00
0,980
0,985
0,990
0,995
1,000
η (T)

DIGA DI DEVERO

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 36,4 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,28	46,59	8,45	0,181	0,32	178,1	283,0	1,589	0,125
10	1,73	62,97	13,48	0,214	0,44	515,6	382,0	0,741	0,168
20	2,38	86,63	22,73	0,262	0,61	1158,1	534,4	0,461	0,235
30	2,86	104,10	31,22	0,300	0,75	1762,5	655,4	0,372	0,288
40	3,21	116,84	38,28	0,328	0,85	2276,9	747,4	0,328	0,328
50	3,49	127,04	44,39	0,349	0,94	2734,4	822,0	0,301	0,361
100	4,36	158,70	65,32	0,412	1,20	4427,4	1054,5	0,238	0,462
200	5,23	190,37	87,45	0,459	1,45	6546,7	1273,2	0,194	0,557
300	5,74	208,94	100,24	0,480	1,58	7994,1	1390,6	0,174	0,608
500	6,38	232,23	115,82	0,499	1,73	10030,0	1526,9	0,152	0,667
1000	7,25	263,90	136,21	0,516	1,92	13197,8	1696,0	0,129	0,740
> 2000	*10,87*	*395,53*	*217,99*	*0,551*	*2,60*	*31506,8*	*2301,7*	*0,073*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,51 #

area totale del bacino **A** = 25,38 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 2,02 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,866 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,577 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,49 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1844,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1867,50 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 16,500 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 0,287 Mm³

esponente **m1** = 1,283 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 1864,90 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 14,18 Mm³

carico massimo sulla soglia: 2,60 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 49,007 m³/s

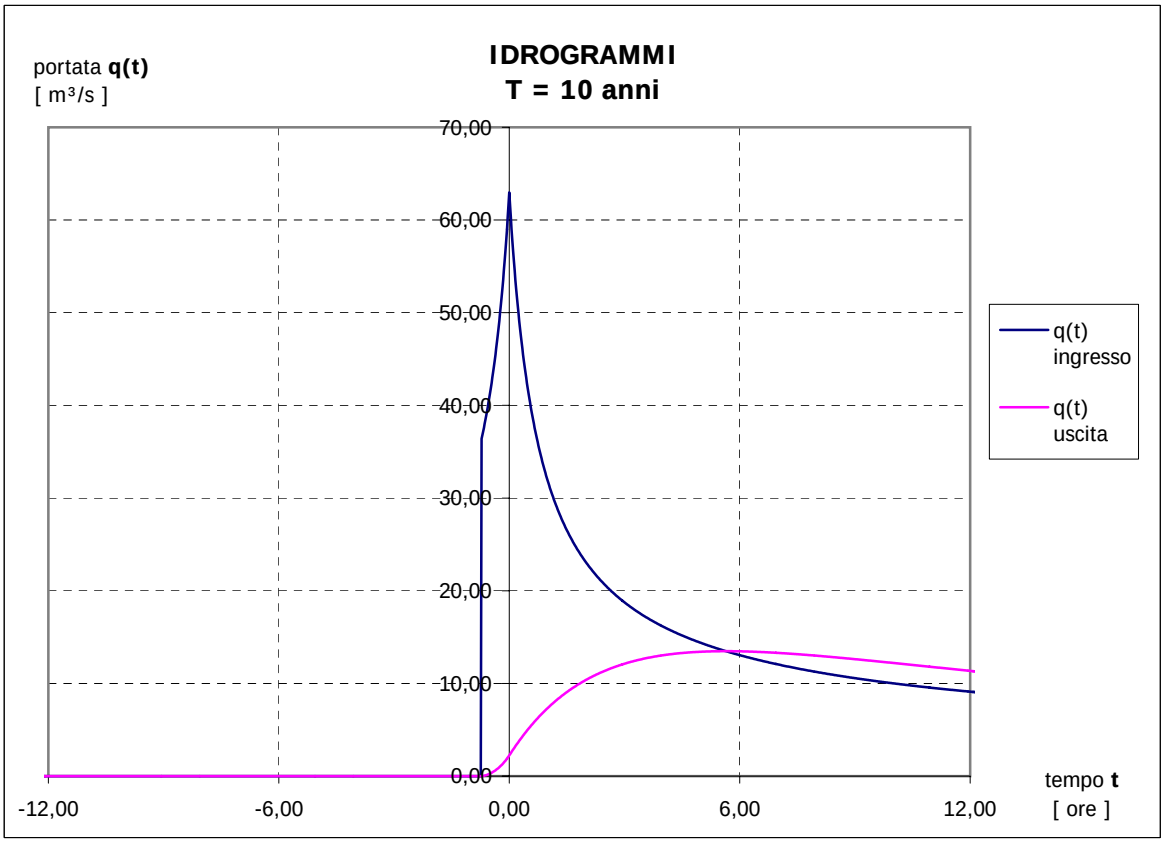
esponente **n1** = 1,562 #

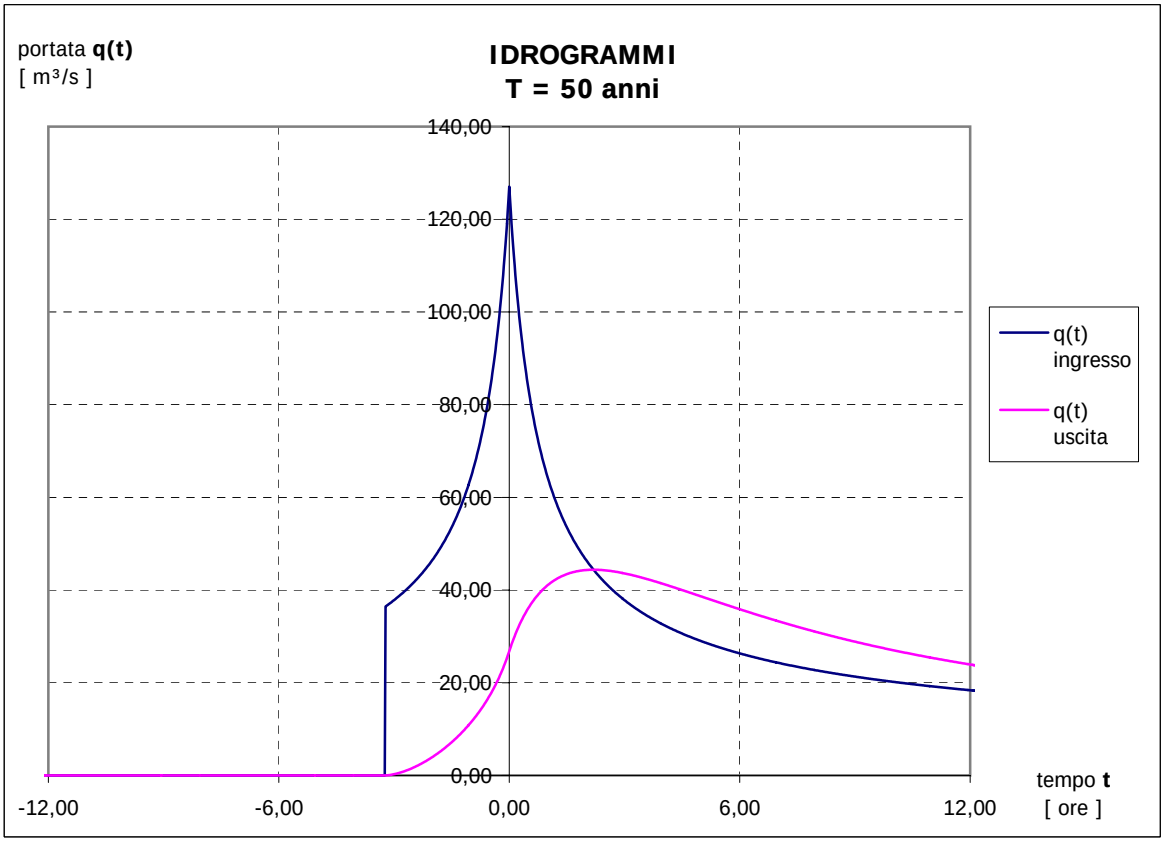
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

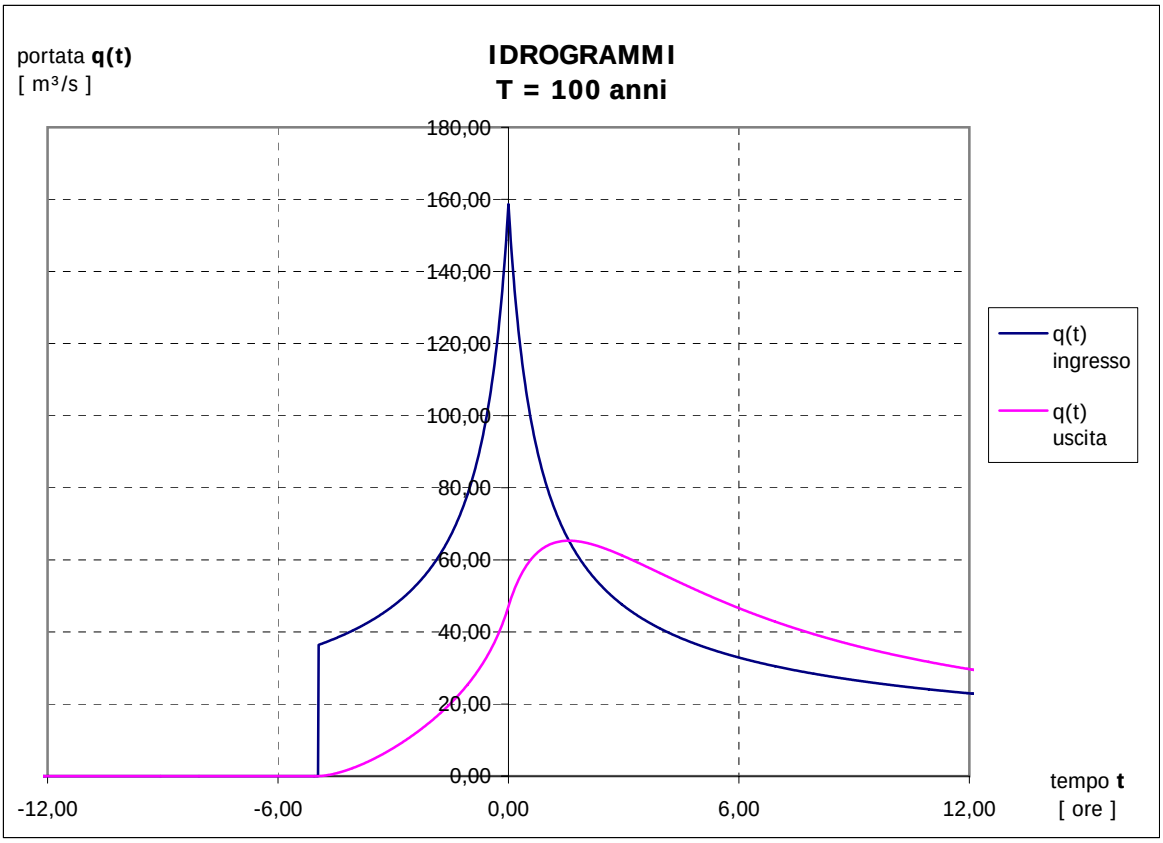
portata al colmo Q_T = **395,53** m³ / s

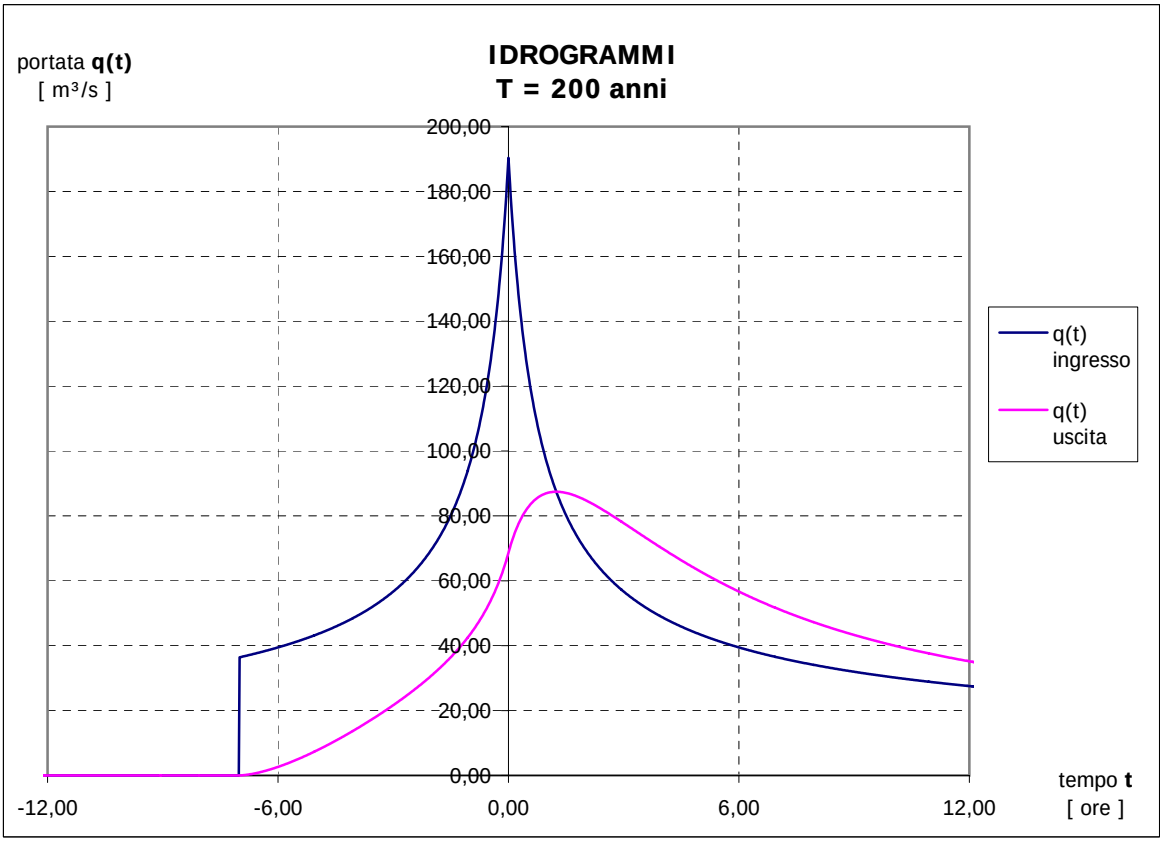
fattore di crescita K_T = **10,87**

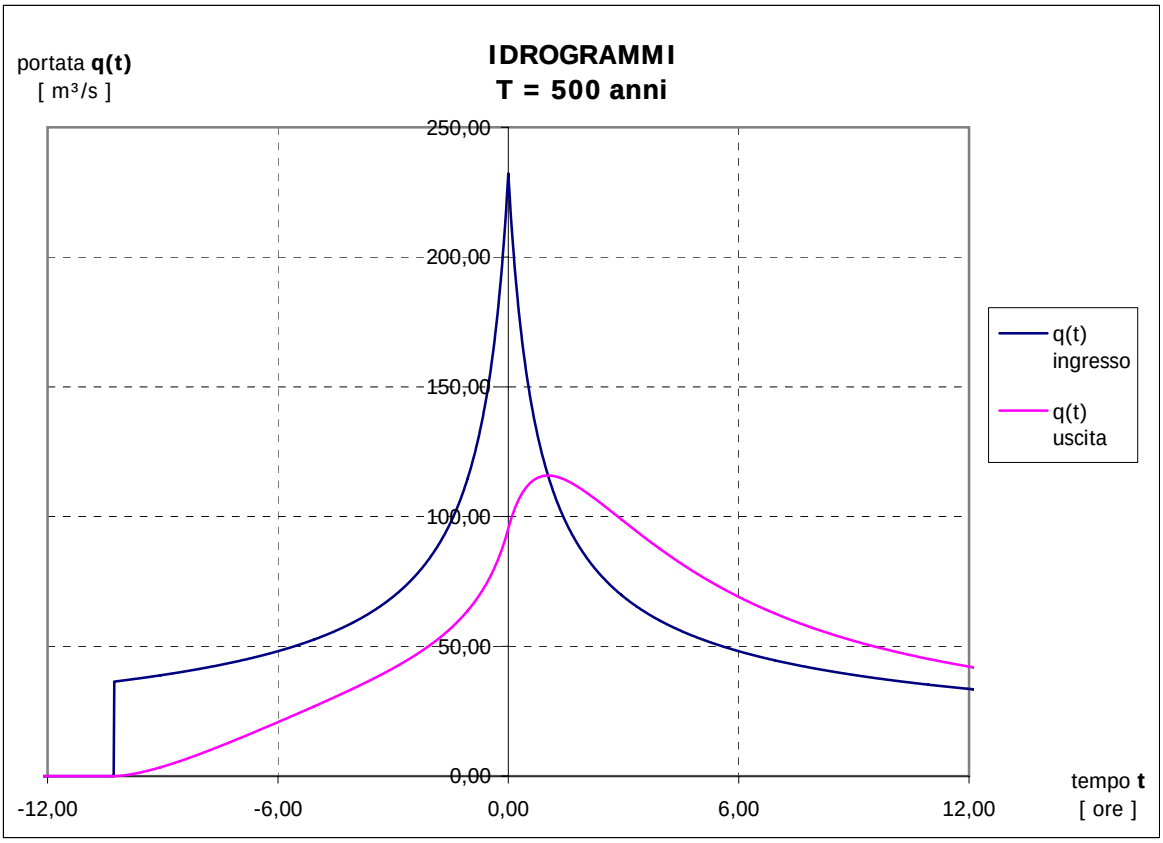
tempo di ritorno stimato **T** = **> 2000** anni

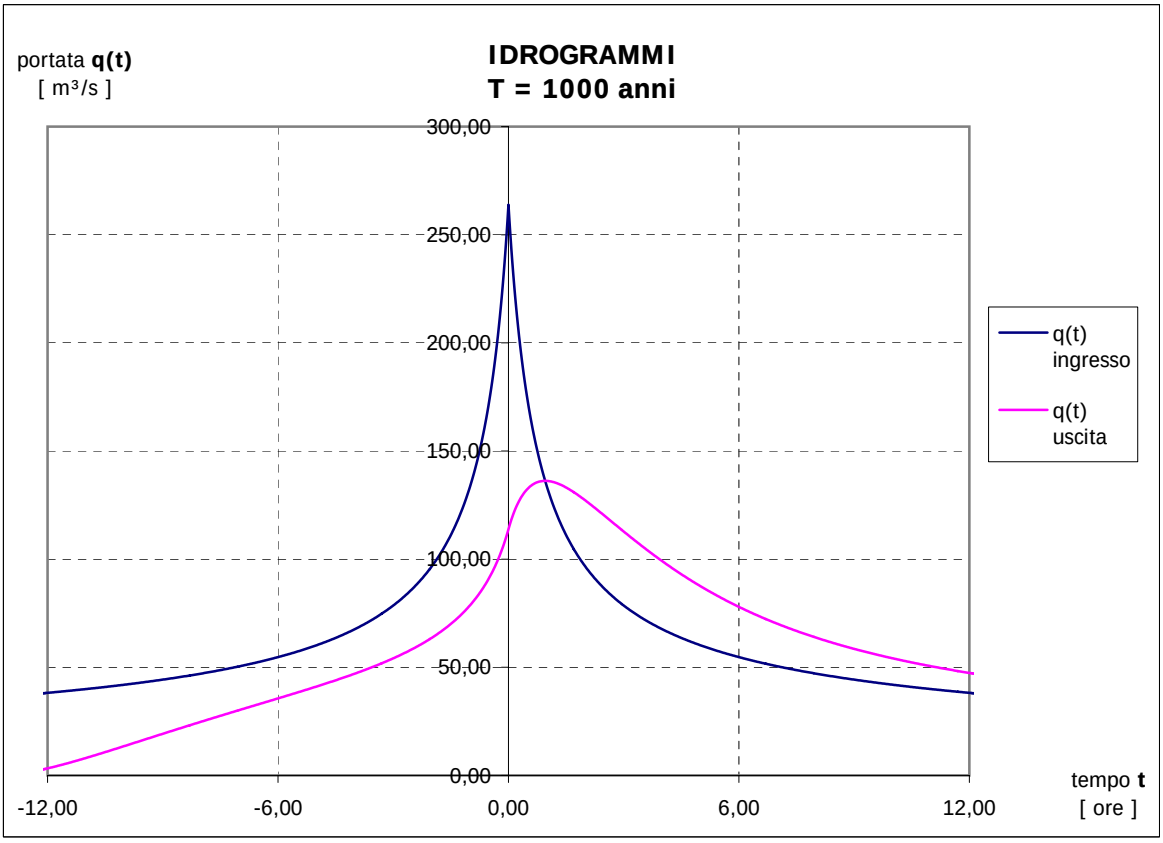

IDROGRAMMI
T = 10 anni
portata q(t)
[m³/s]
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

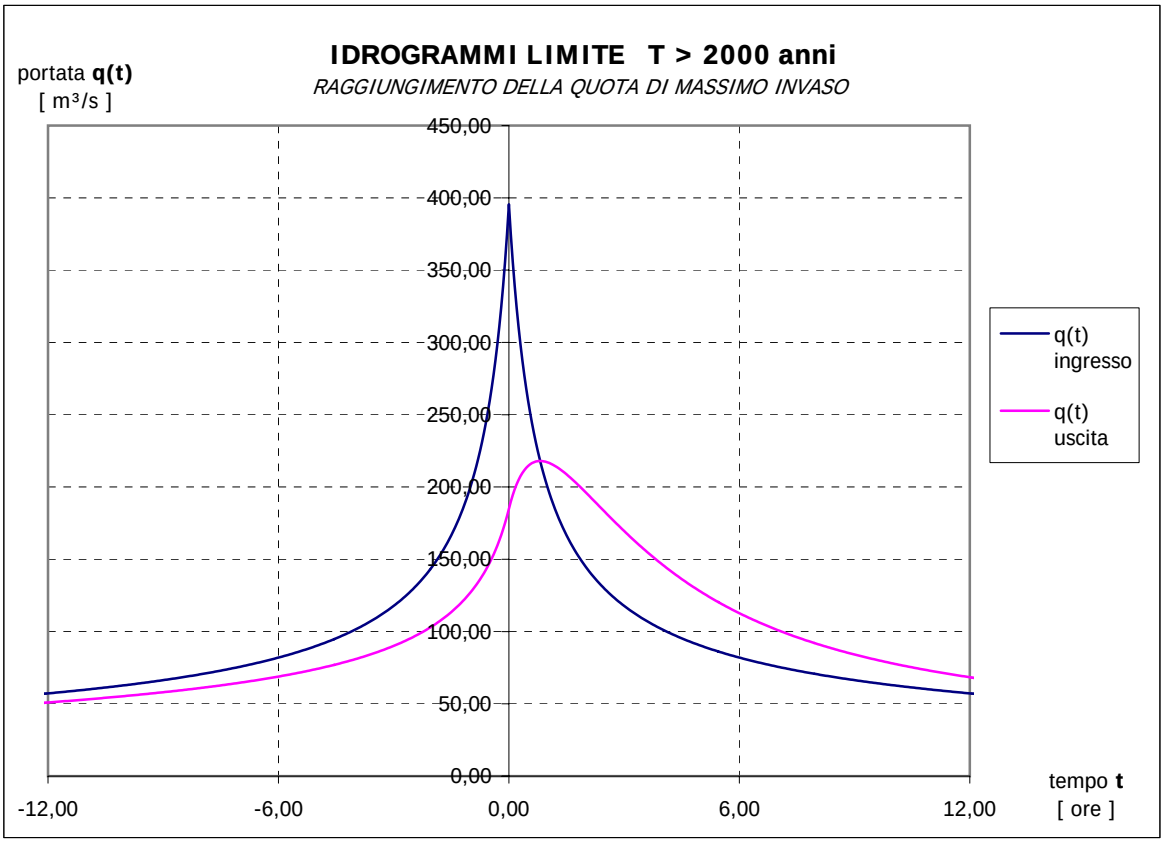

IDROGRAMMI
T = 50 anni
portata q(t)
[m³/s]
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

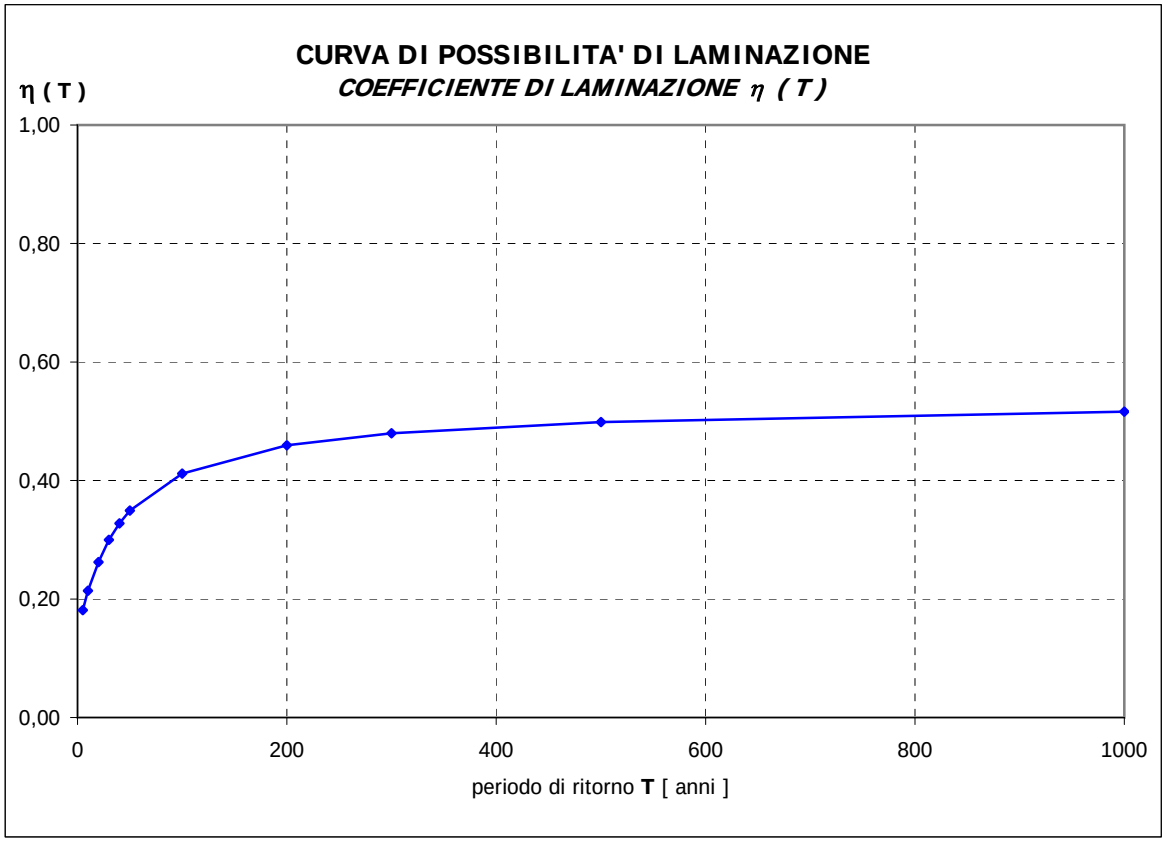

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 100 anni
180,00
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

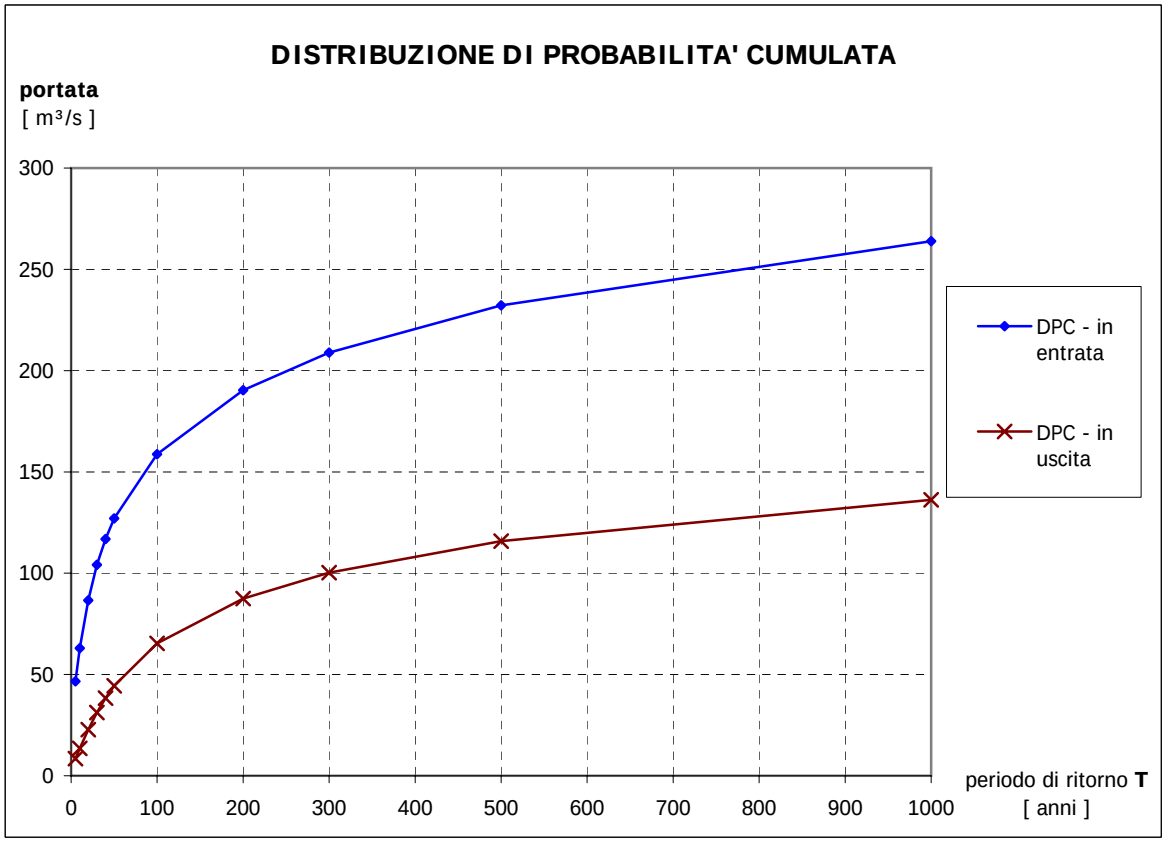

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 200 anni
200,00
180,00
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

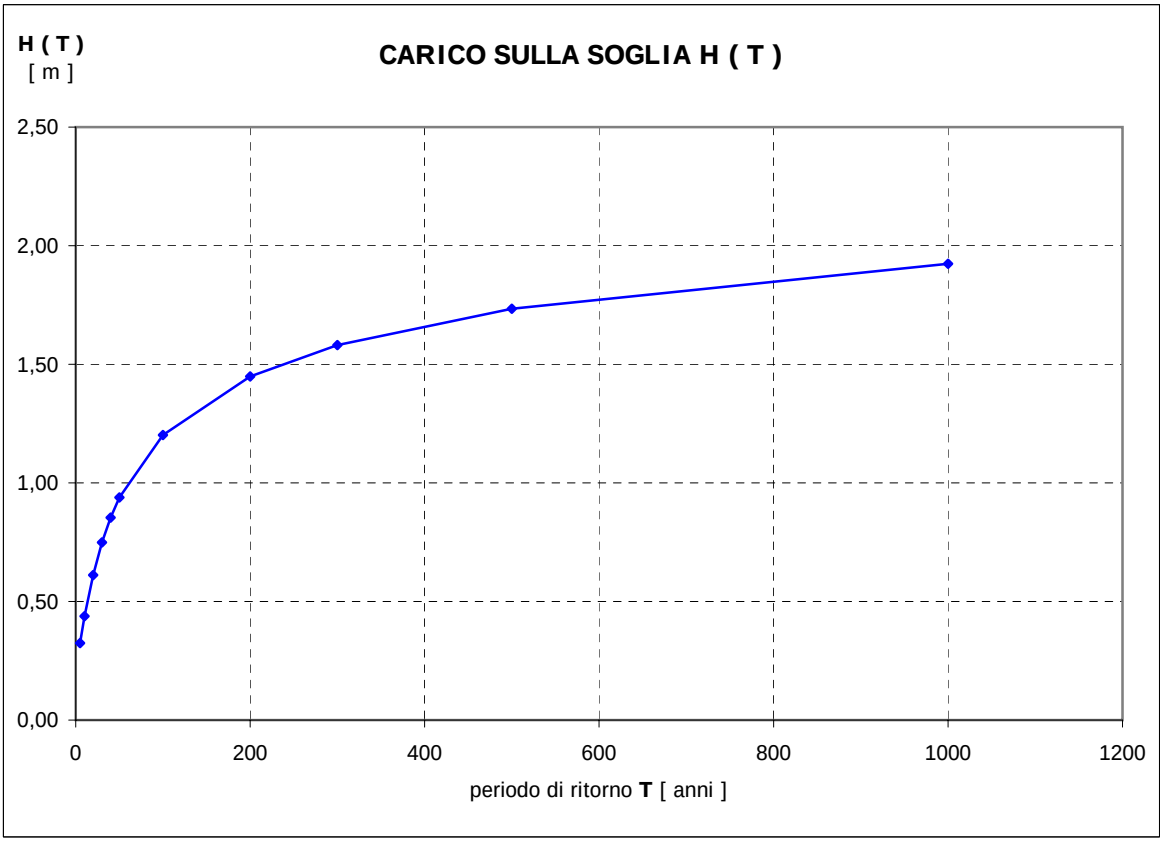

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 500 anni
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

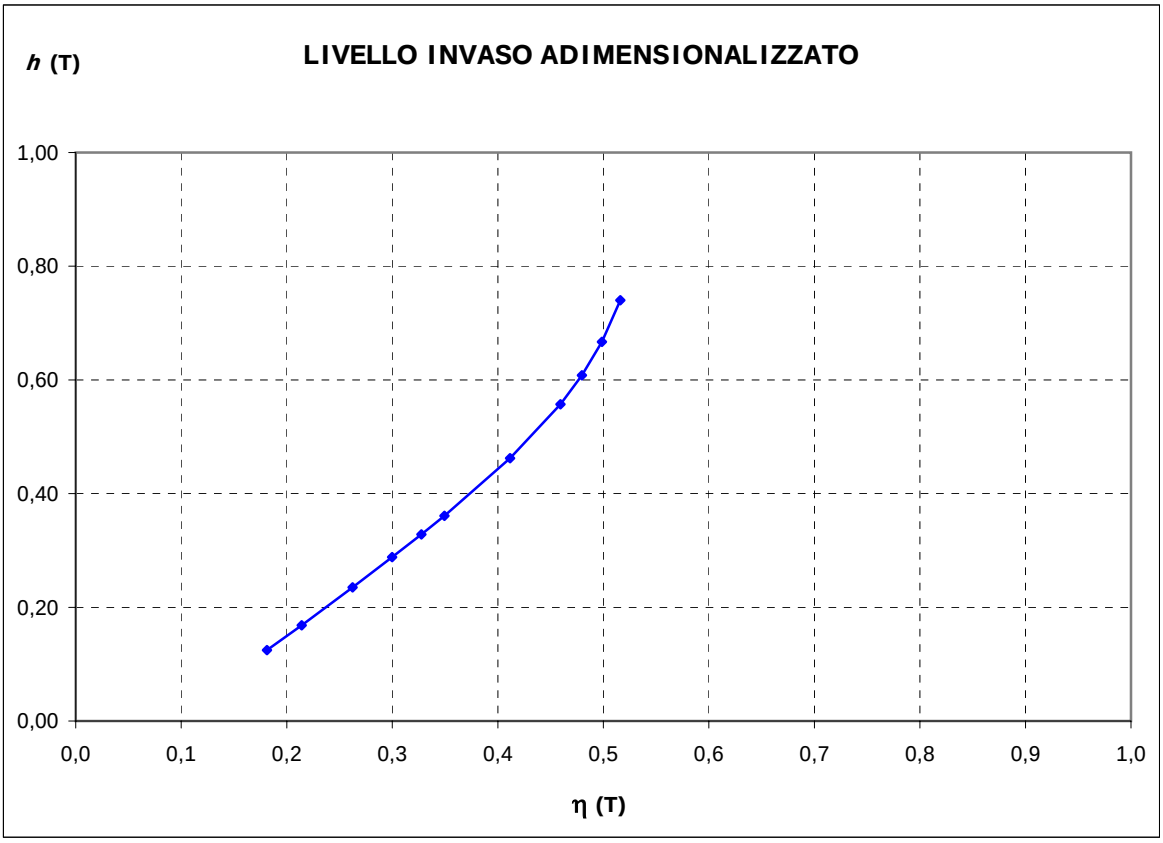

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 1000 anni
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

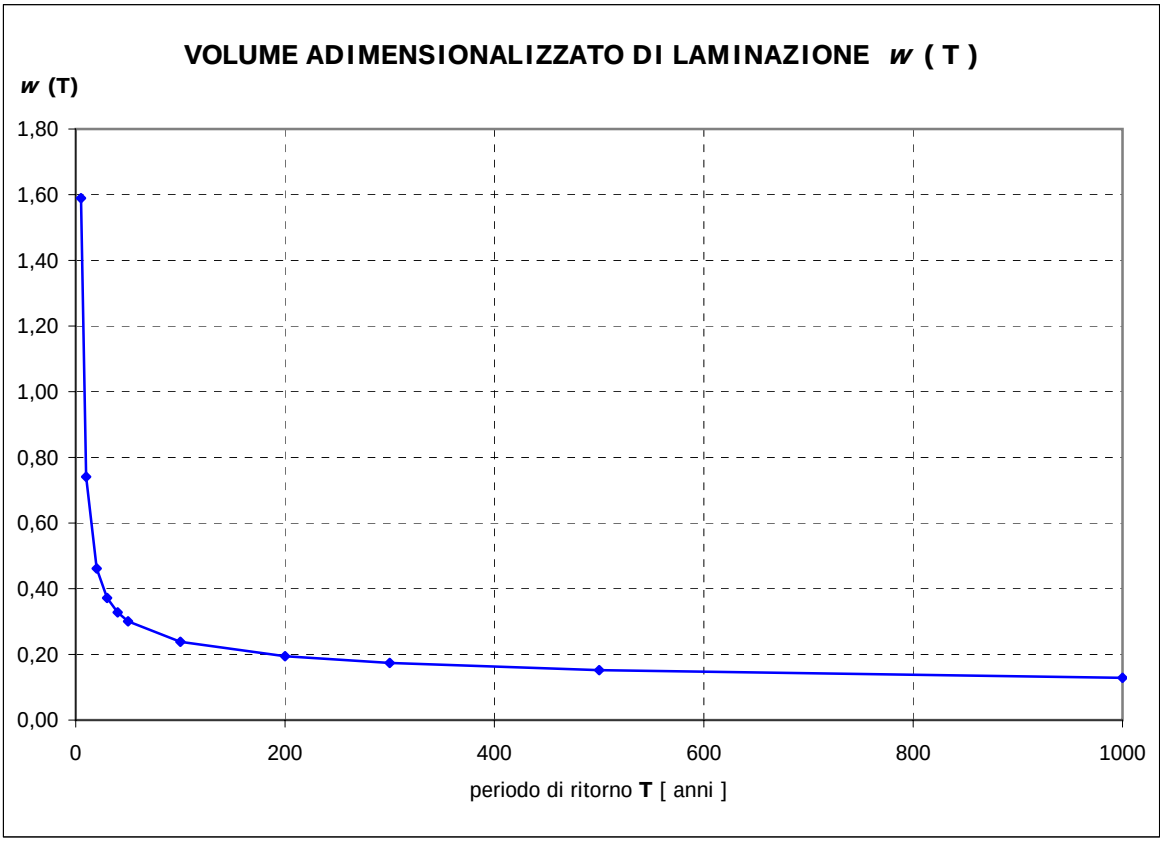

IDROGRAMMI LIMITE T > 2000 anni
RAGGIUNGIMENTO DELLA QUOTA DI MASSIMO INVASO
portata q(t)
[m³/s]
450,00
400,00
350,00
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

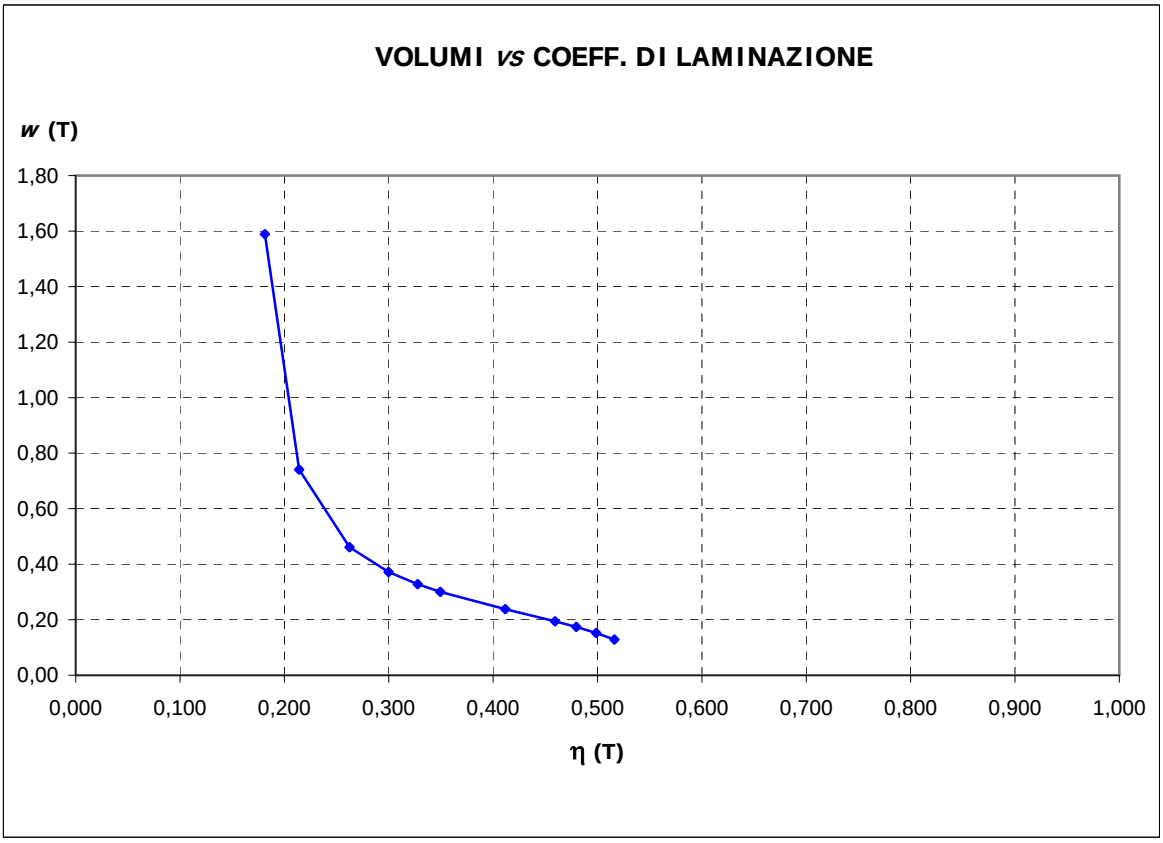

CURVA DI POSSIBILITA' DI LAMINAZIONE
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE η (T)
η (T)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]


DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' CUMULATA
portata
[m³/s]
300
250
200
150
100
50
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
periodo di ritorno T
[anni]
DPC - in entrata
DPC - in uscita


H (T)
[m]
CARICO SULLA SOGLIA H (T)
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
200
400
600
800
1000
1200
periodo di ritorno T [anni]


h (T)
LIVELLO INVASO ADIMENSIONALIZZATO
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0
η (T)


VOLUME ADIMENSIONALIZZATO DI LAMINAZIONE w (T)
w (T)
1,80
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]


VOLUMI vs COEFF. DI LAMINAZIONE
w (T)
1,80
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,000
0,100
0,200
0,300
0,400
0,500
0,600
0,700
0,800
0,900
1,000
η (T)

DIGA DI LAGO ANTRONA

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 45,85 m^3 / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]
5	1,30	59,61	36,42	0,611	0,64
10	1,80	82,53	62,74	0,760	0,92
20	2,56	117,38	97,42	0,830	1,24
30	3,11	142,59	119,69	0,839	1,42
40	3,52	161,39	136,19	0,844	1,55
50	3,84	176,06	149,11	0,847	1,64
100	4,83	221,46	189,50	0,856	1,93
200	5,82	266,85	230,58	0,864	2,20
300	6,40	293,44	254,94	0,869	2,35
500	7,13	326,91	286,00	0,875	2,53
1000	8,12	372,30	328,88	0,883	2,78
31,6	*3,35*	*153,49*	*130,18*	*0,848*	*1,50*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,56 #

area totale del bacino **A** = 42,67 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,46 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 1,554 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,322 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,44 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1085,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1086,50 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 0,258 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 0,264 Mm³

esponente **m1** = 1,061 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 1085,00 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 0,00 Mm³

carico massimo sulla soglia: 1,50 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 70,871 m³/s

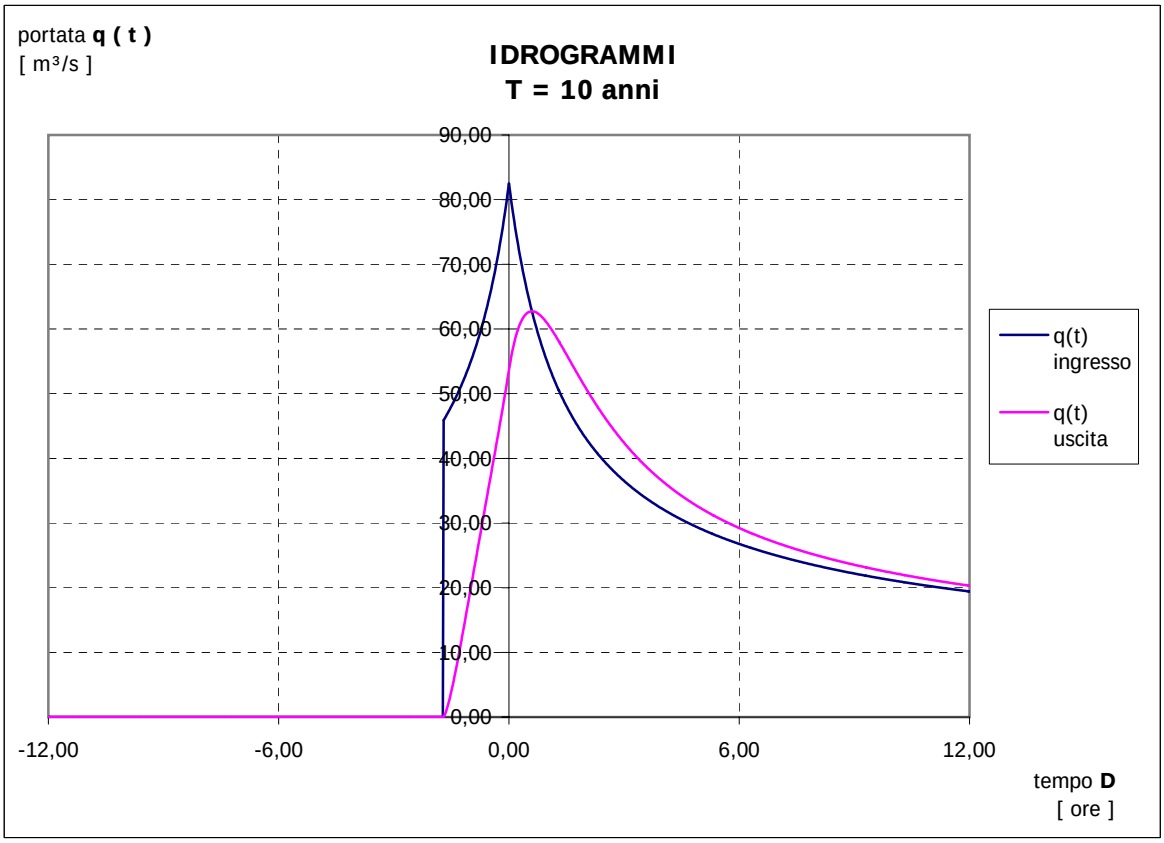
esponente **n1** = 1,500 #

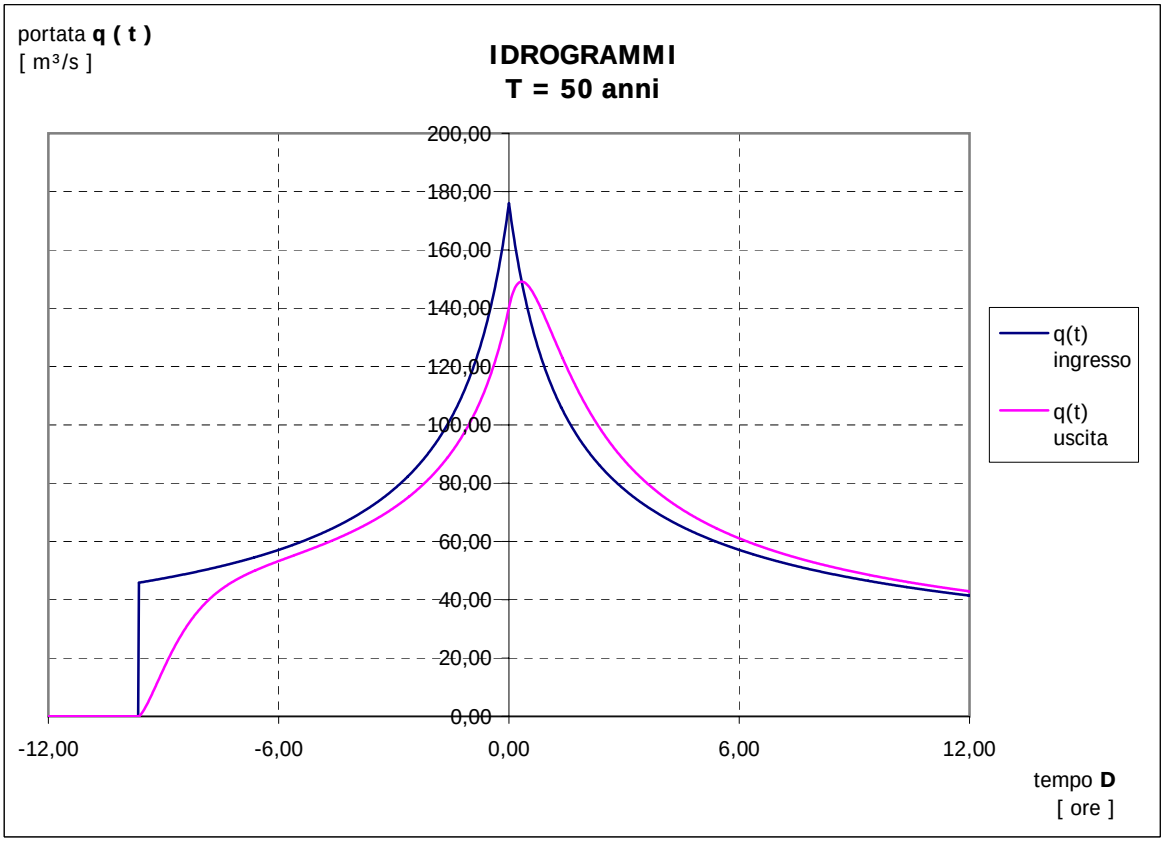
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

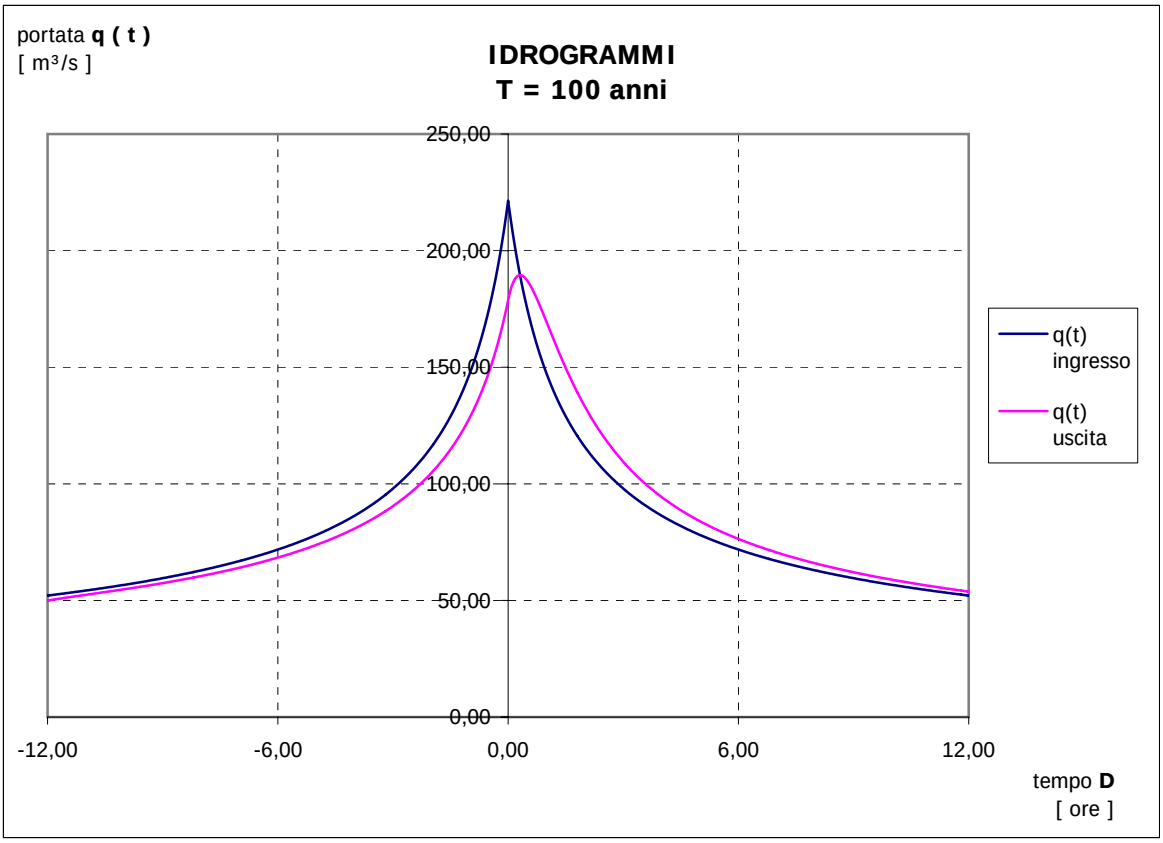
portata al colmo Q_T = **153,49** m^3 / s

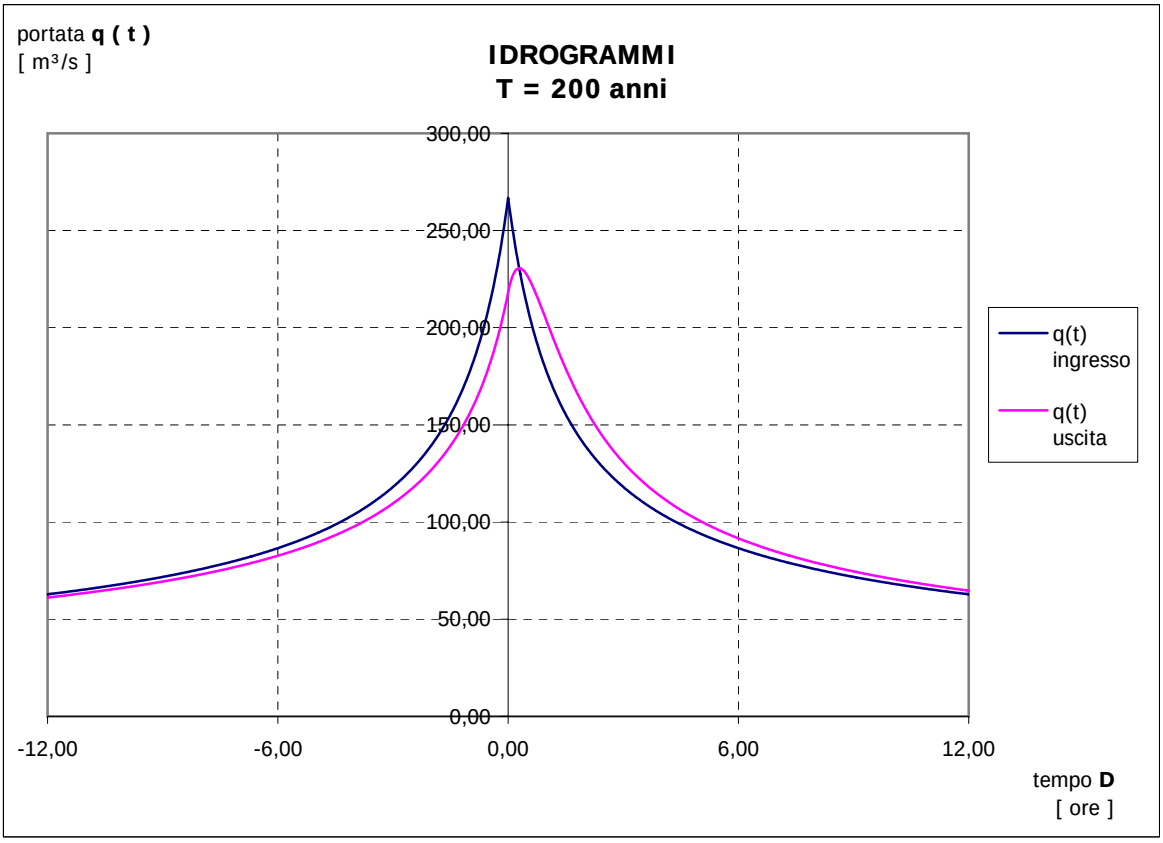
fattore di crescita K_T = 3,35

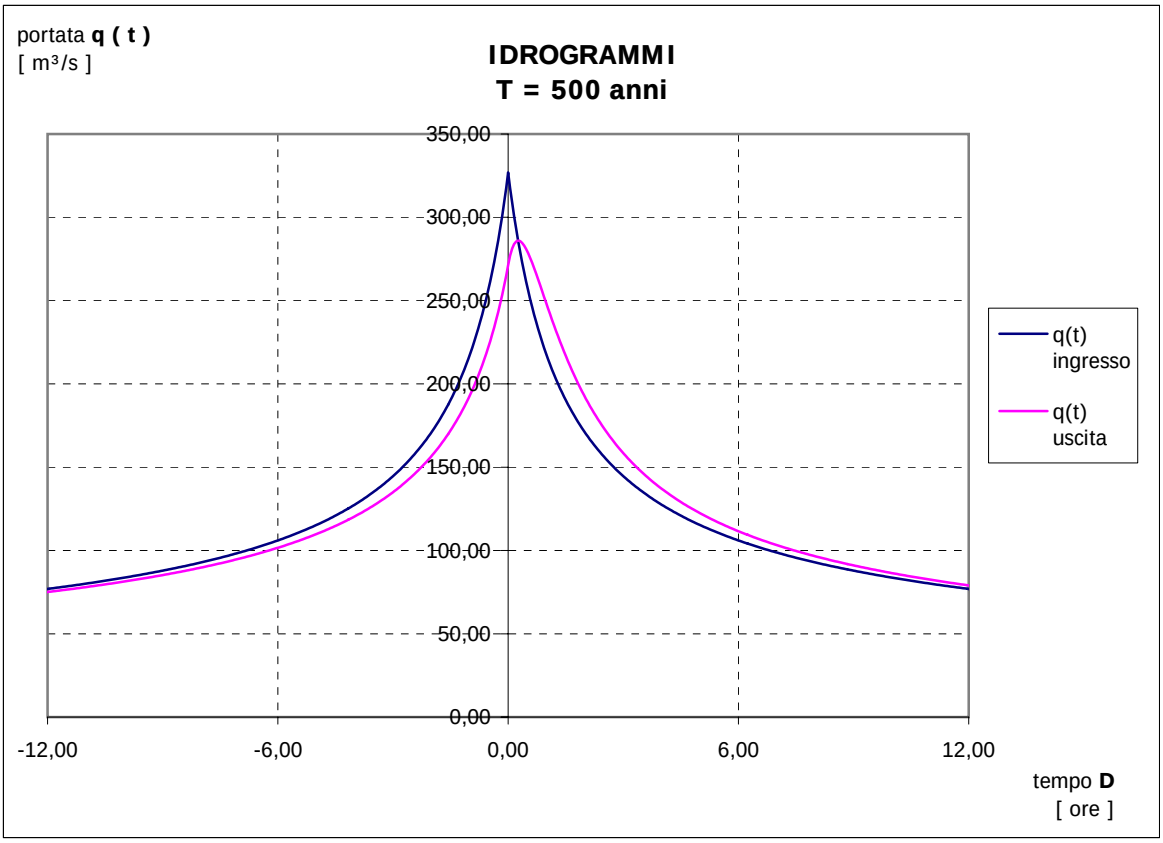
tempo di ritorno stimato **T** = 31,6 anni

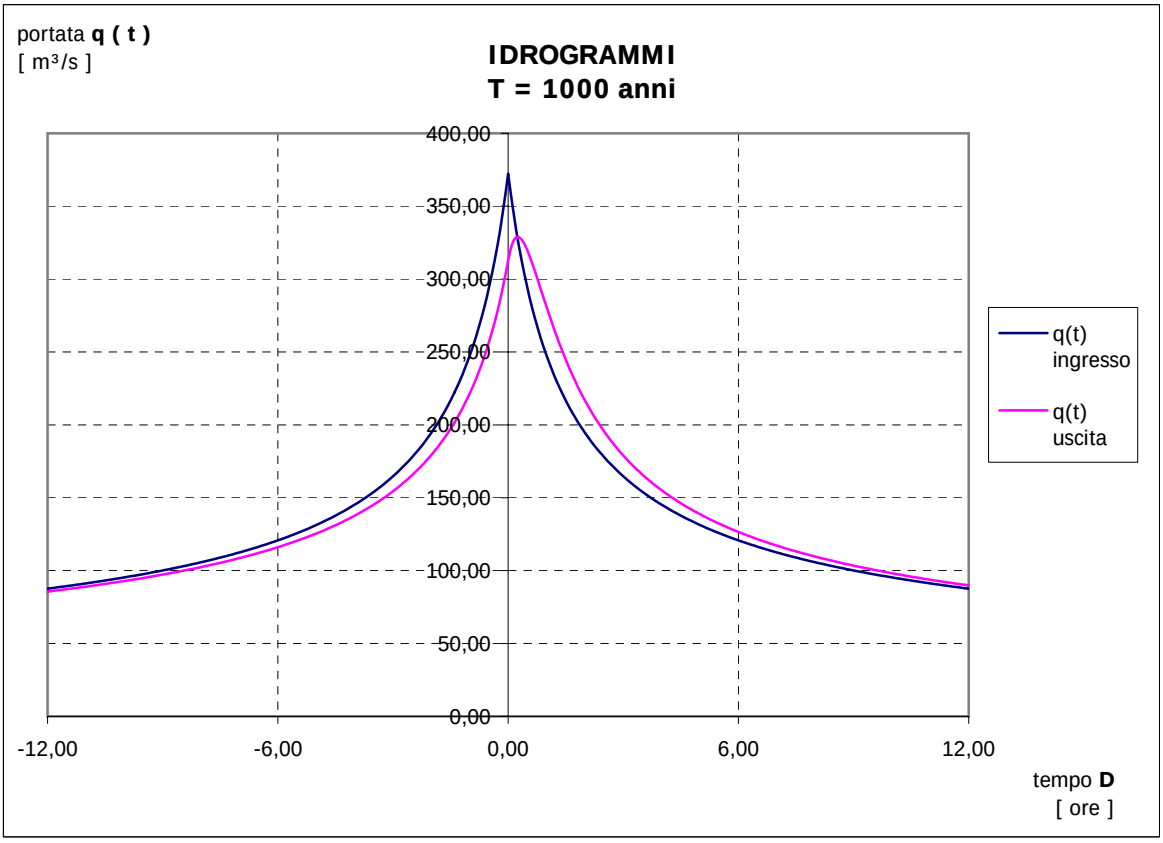

portata q (t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 10 anni
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo D
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

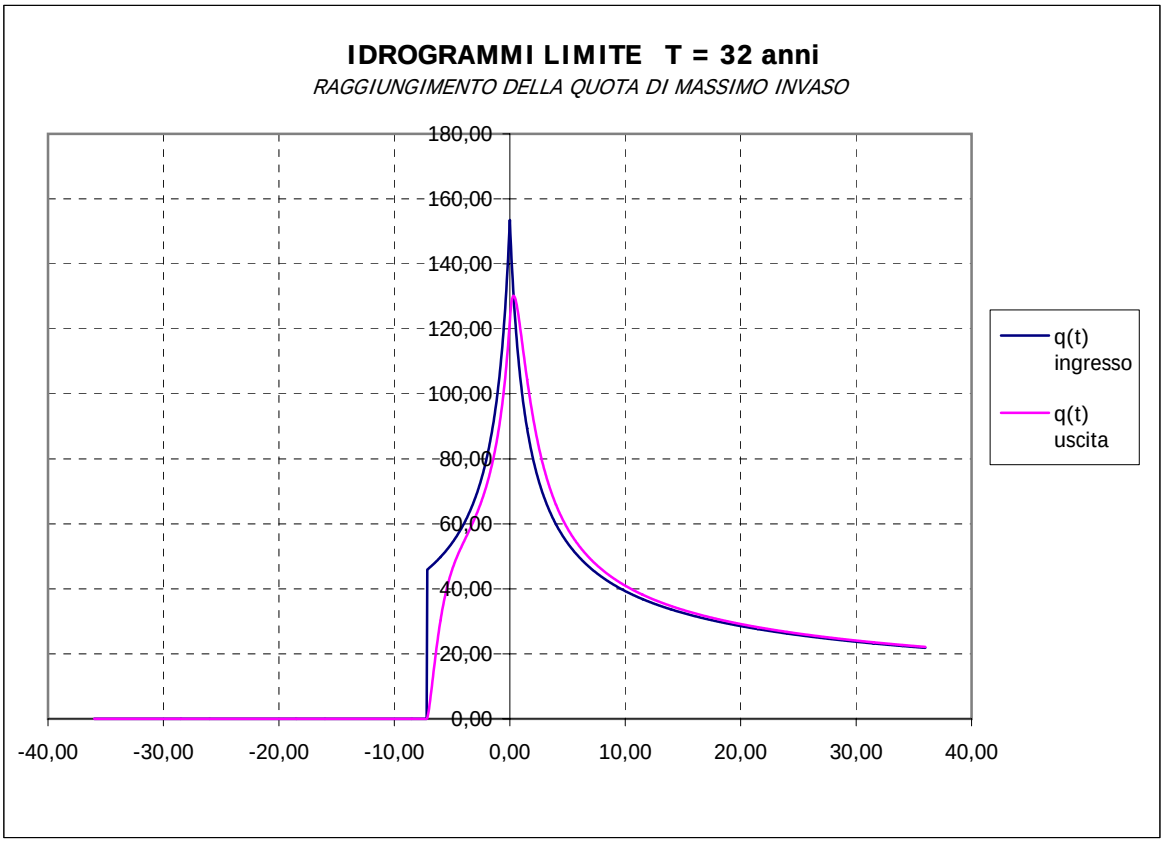

portata q (t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 50 anni
200,00
180,00
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo D
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


portata q (t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 100 anni
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo D
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

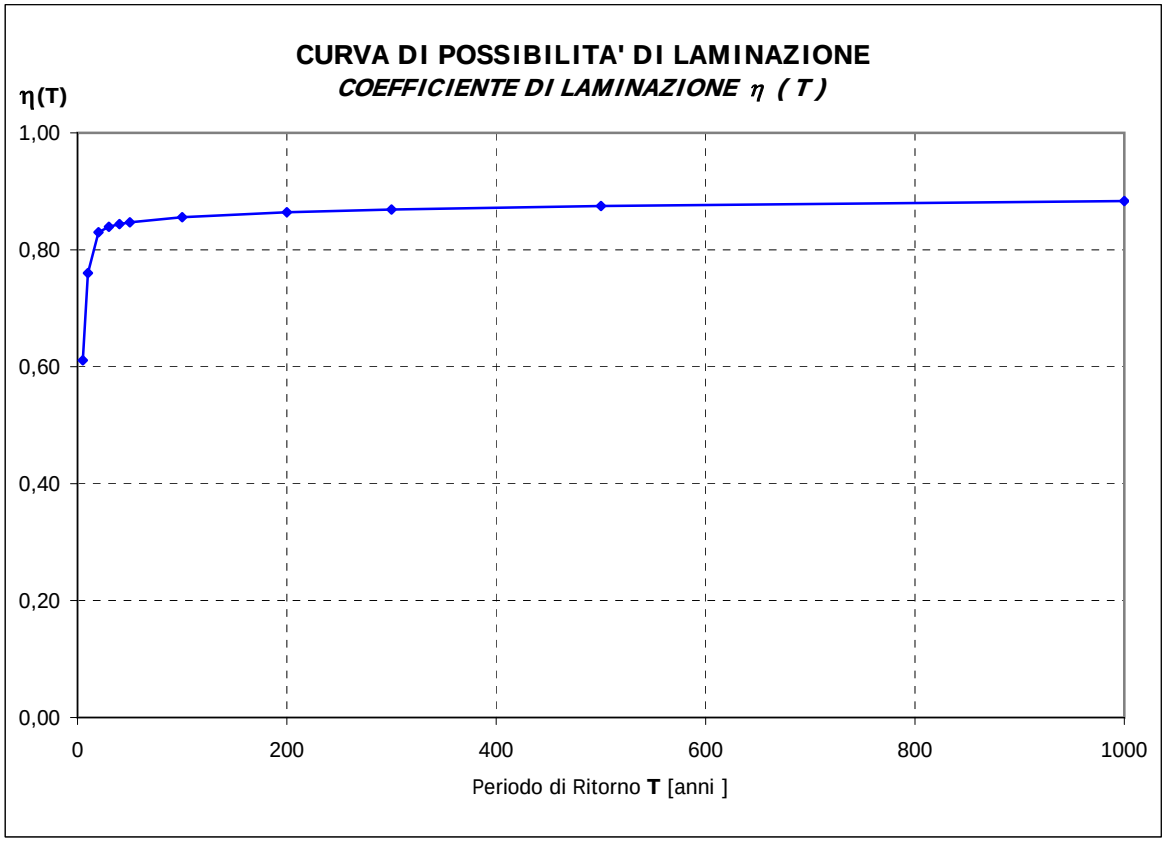

portata q (t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 200 anni
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo D
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

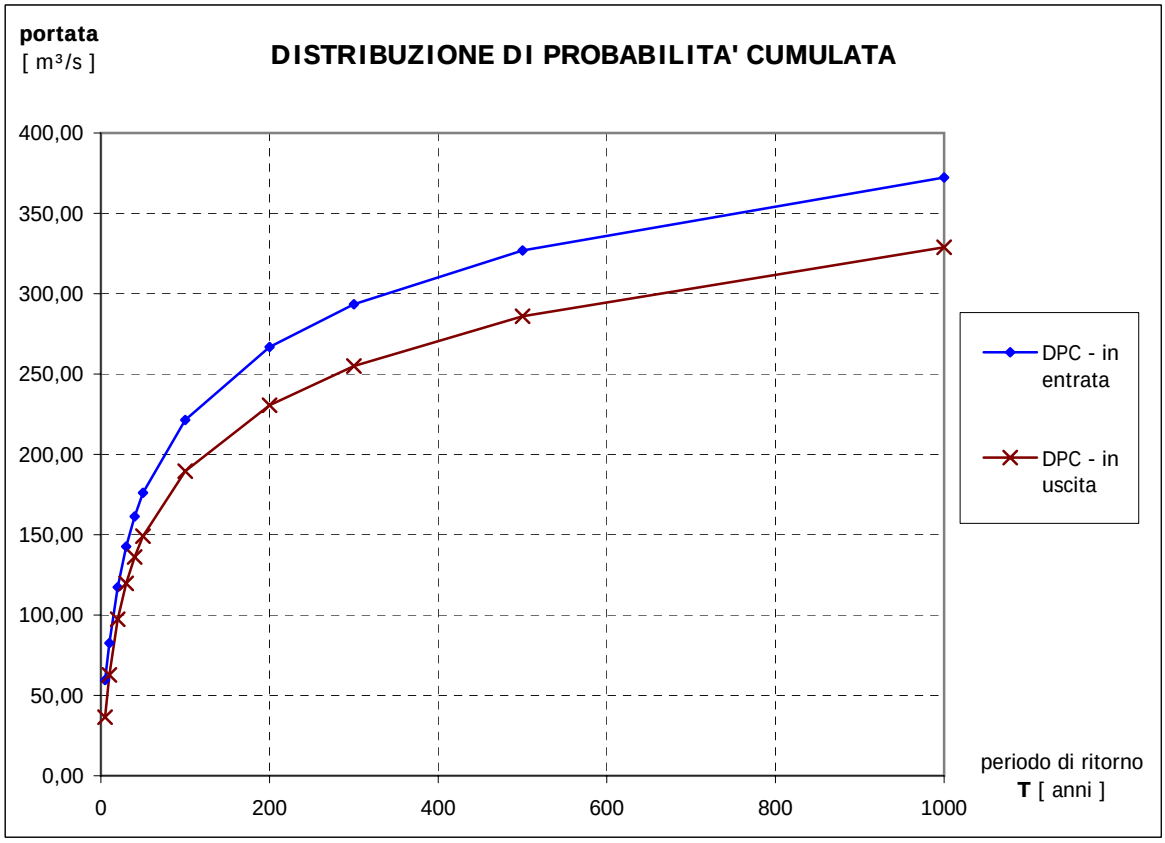

portata q (t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 500 anni
350,00
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo D
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


portata q (t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 1000 anni
400,00
350,00
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo D
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


IDROGRAMMI LIMITE T = 32 anni
RAGGIUNGIMENTO DELLA QUOTA DI MASSIMO INVASO
180,00
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-40,00
-30,00
-20,00
-10,00
0,00
10,00
20,00
30,00
40,00
q(t) ingresso
q(t) uscita

DIGA DI LAGO ANTRONA





DIGA DI LAGO CINGINO

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 5,78 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,29	7,46	2,85	0,382	0,09	7,1	12,1	1,702	0,218
10	1,81	10,46	5,12	0,490	0,13	26,0	17,8	0,684	0,320
20	2,62	15,14	9,63	0,636	0,19	71,3	26,8	0,376	0,482
30	3,20	18,50	12,80	0,692	0,23	116,4	32,3	0,277	0,580
40	3,63	20,98	14,93	0,712	0,26	157,1	35,7	0,227	0,641
50	3,96	22,89	16,49	0,721	0,27	192,6	38,1	0,198	0,684
100	4,99	28,84	21,24	0,736	0,32	328,8	44,9	0,137	0,806
200	6,03	34,85	26,06	0,748	0,37	507,2	51,3	0,101	0,921
300	6,63	38,32	28,86	0,753	0,39	629,9	54,8	0,087	0,984
500	7,39	42,71	32,55	0,762	0,43	806,8	59,3	0,073	1,064
1000	8,42	48,67	37,59	0,772	0,47	1085,7	65,1	0,060	1,169
343	*6,78*	*39,19*	*29,56*	*0,754*	*0,40*	*662,7*	*55,7*	*0,084*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,56 #

area totale del bacino **A** = 3,06 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,41 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,431 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 1,161 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,44 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 2207,25 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 2262,15 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 4,520 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 9,318E-03 Mm³

esponente **m1** = 1,564 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 2261,75 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 4,84 Mm³

carico massimo sulla soglia: 0,40 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 121,061 m³/s

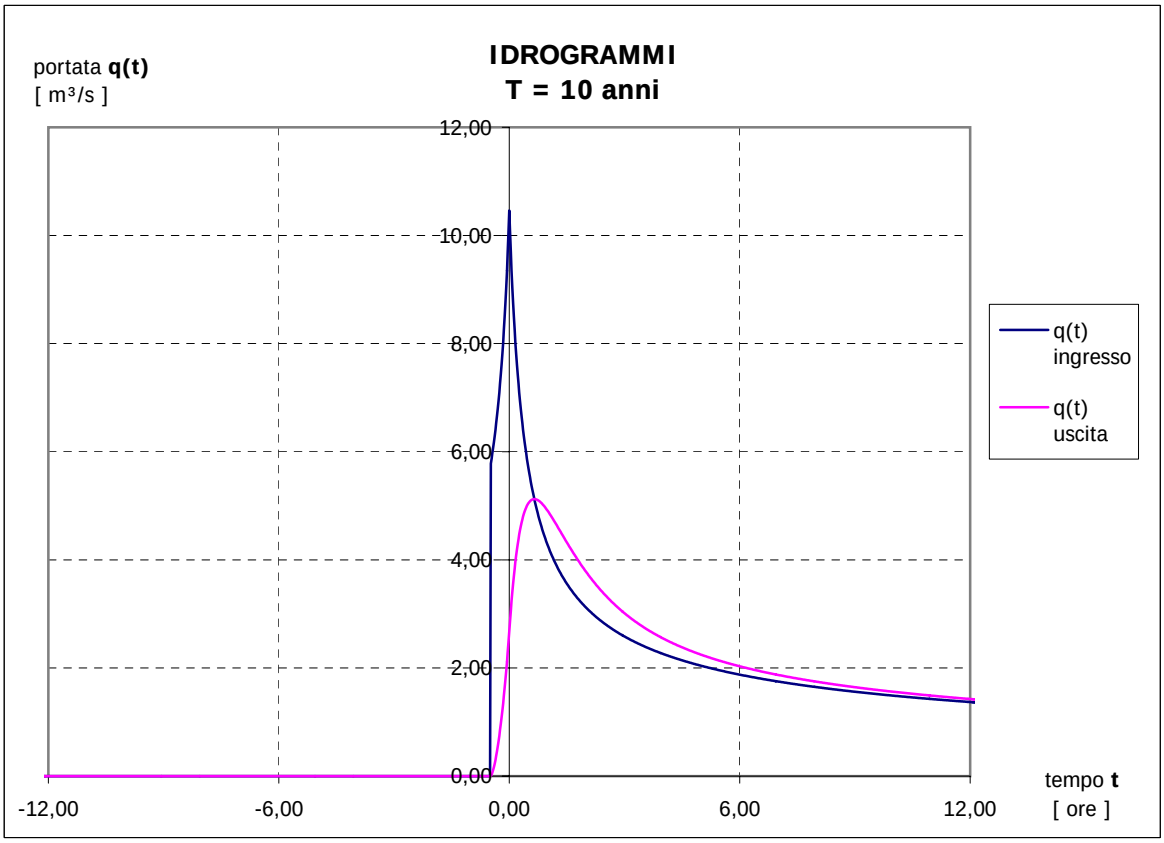
esponente **n1** = 1,538 #

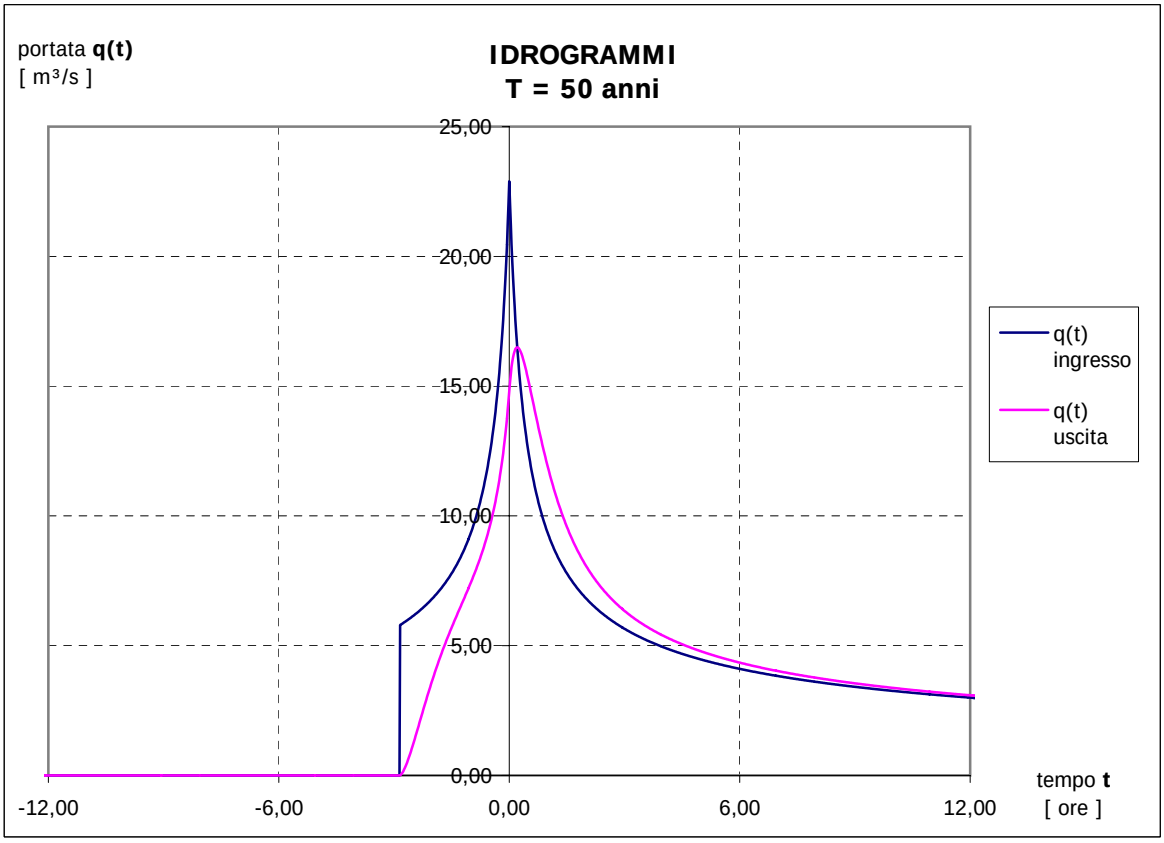
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

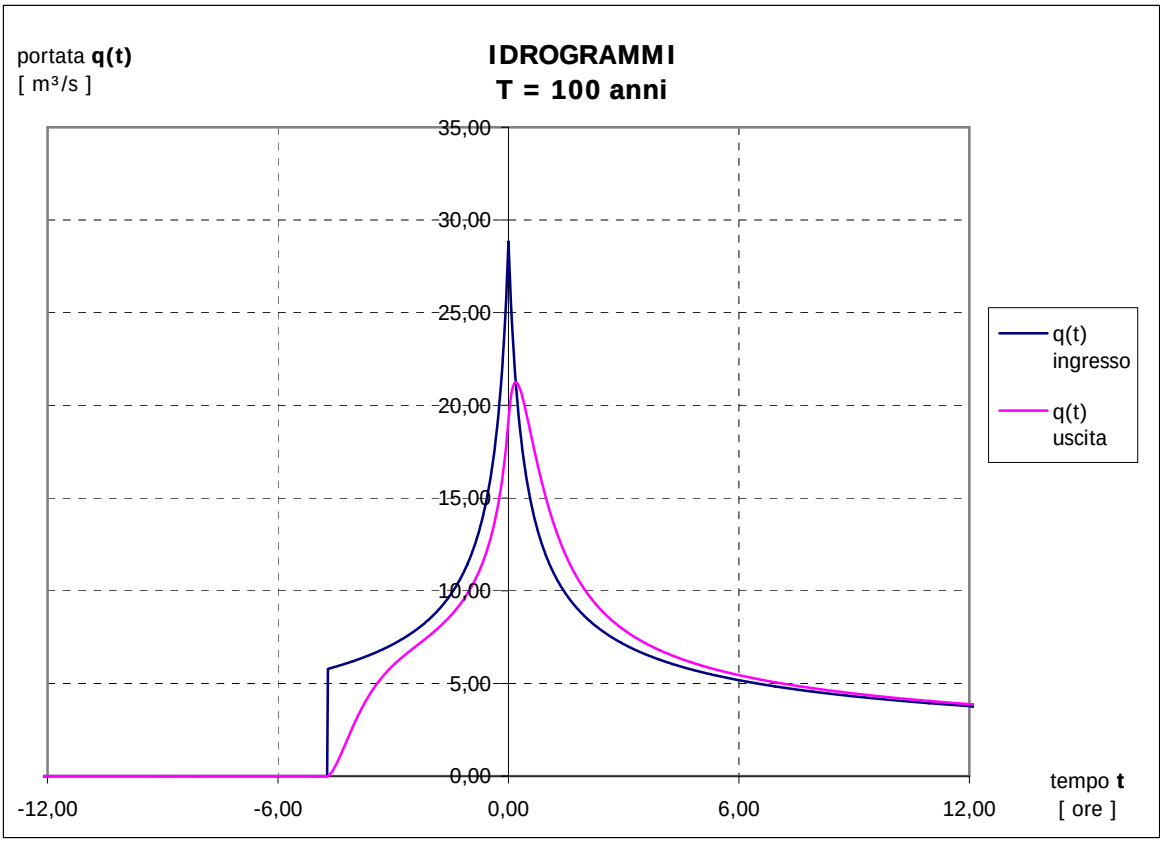
portata al colmo Q_T = **39,19** m³ / s

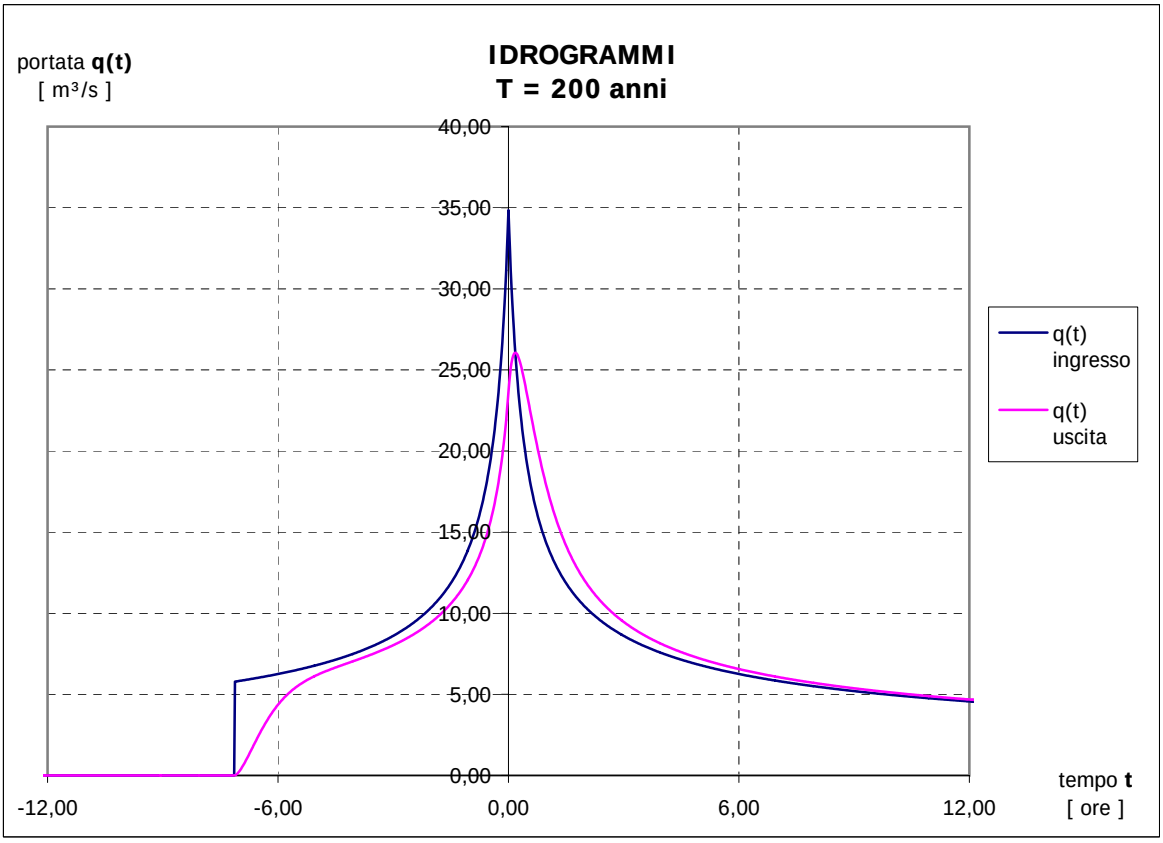
fattore di crescita K_T = **6,78**

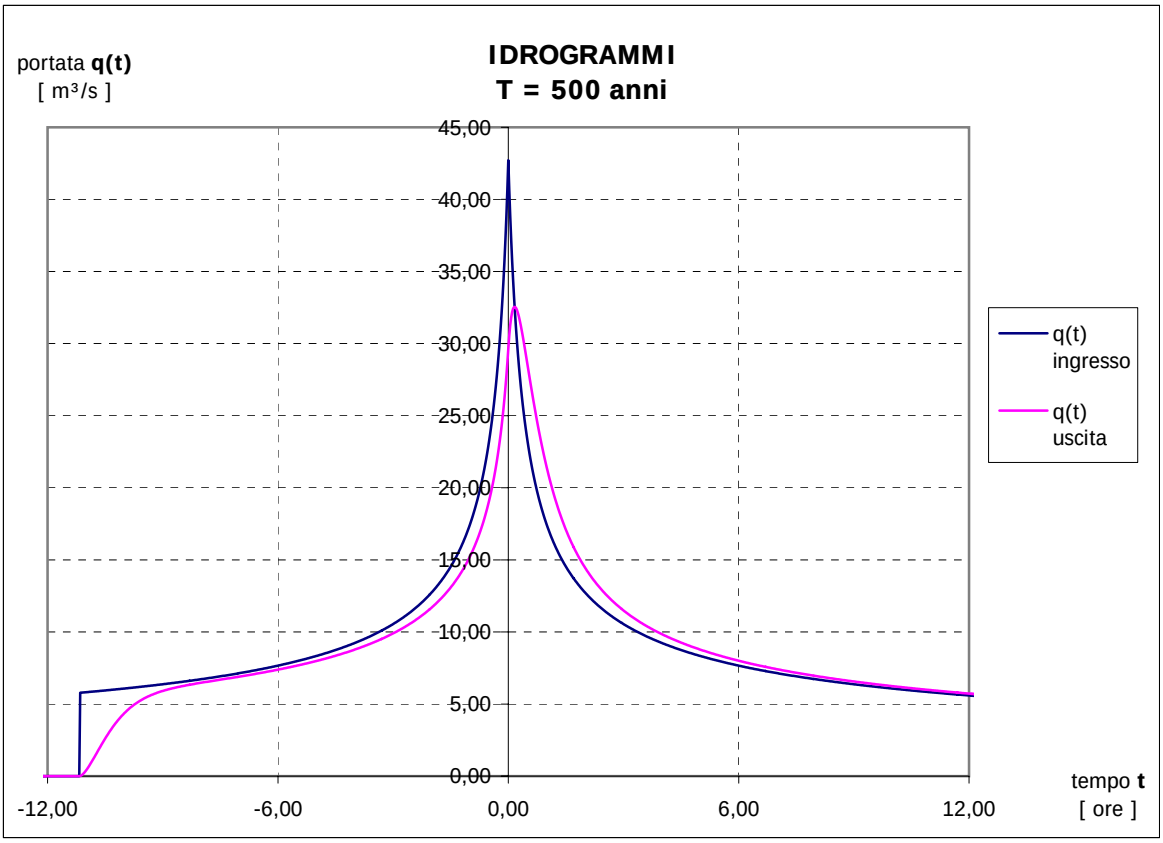
tempo di ritorno stimato **T** = **343,29** anni

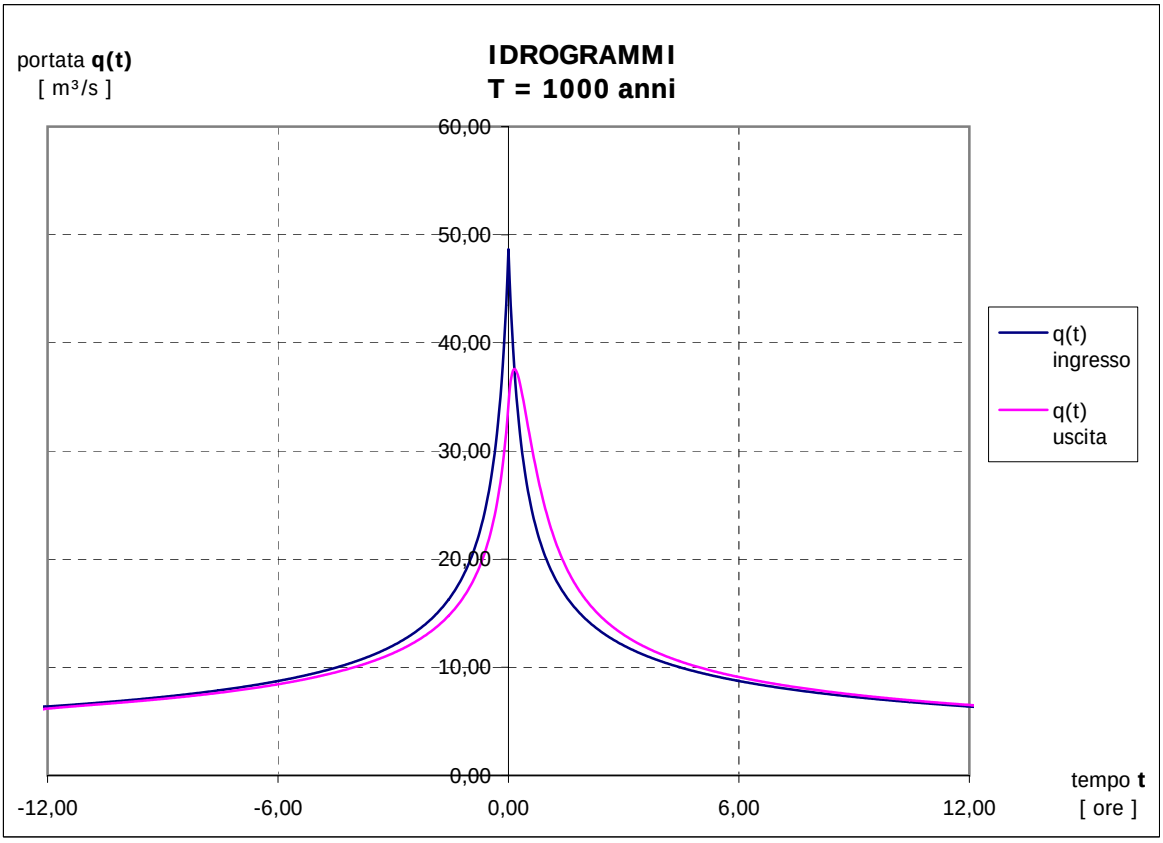

IDROGRAMMI
T = 10 anni
portata q(t)
[m³/s]
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


IDROGRAMMI
T = 50 anni
portata q(t)
[m³/s]
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

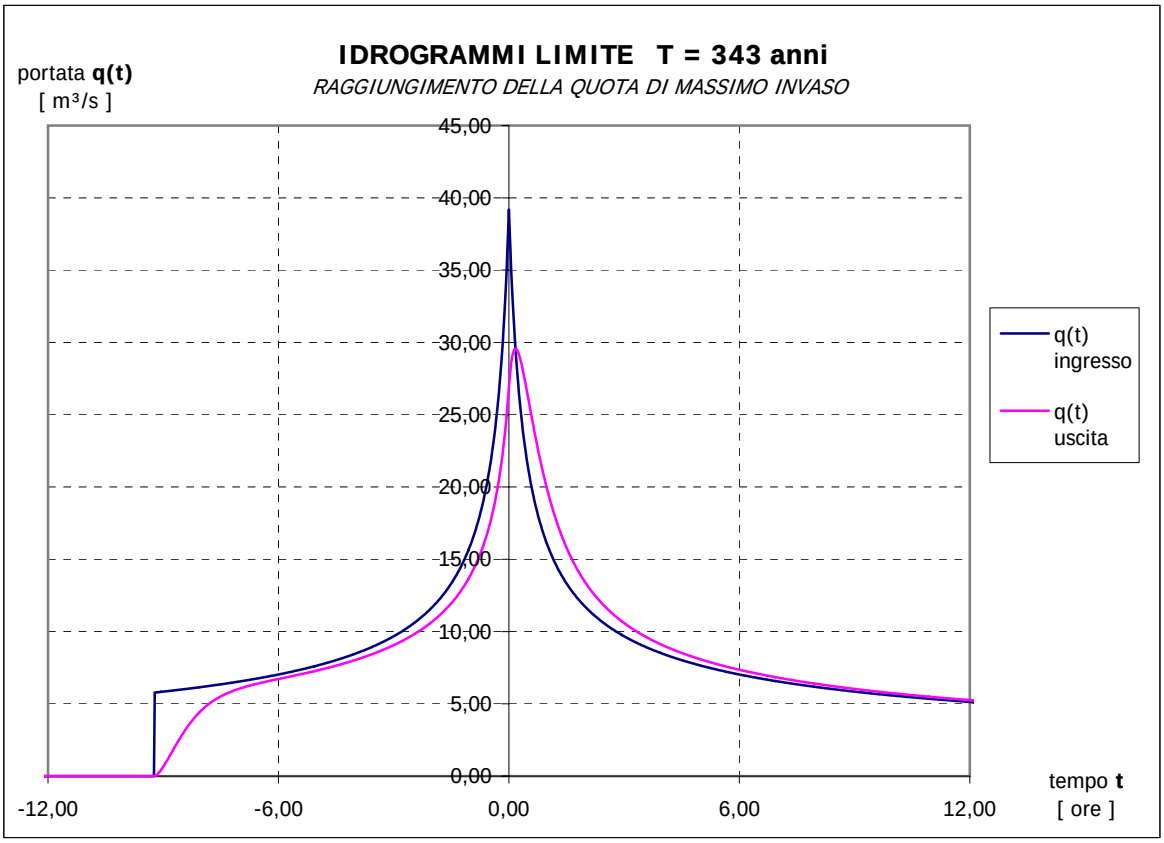

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 100 anni
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 200 anni
40,00
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

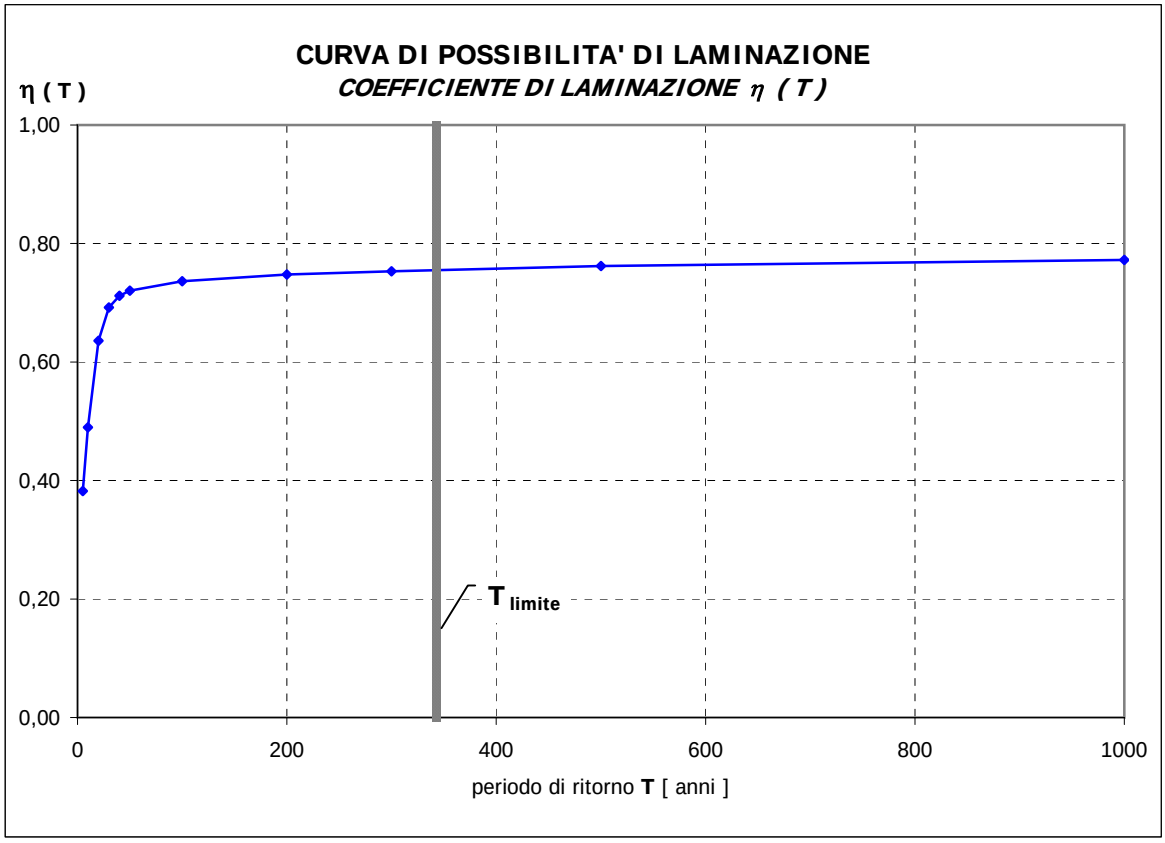

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 500 anni
45,00
40,00
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

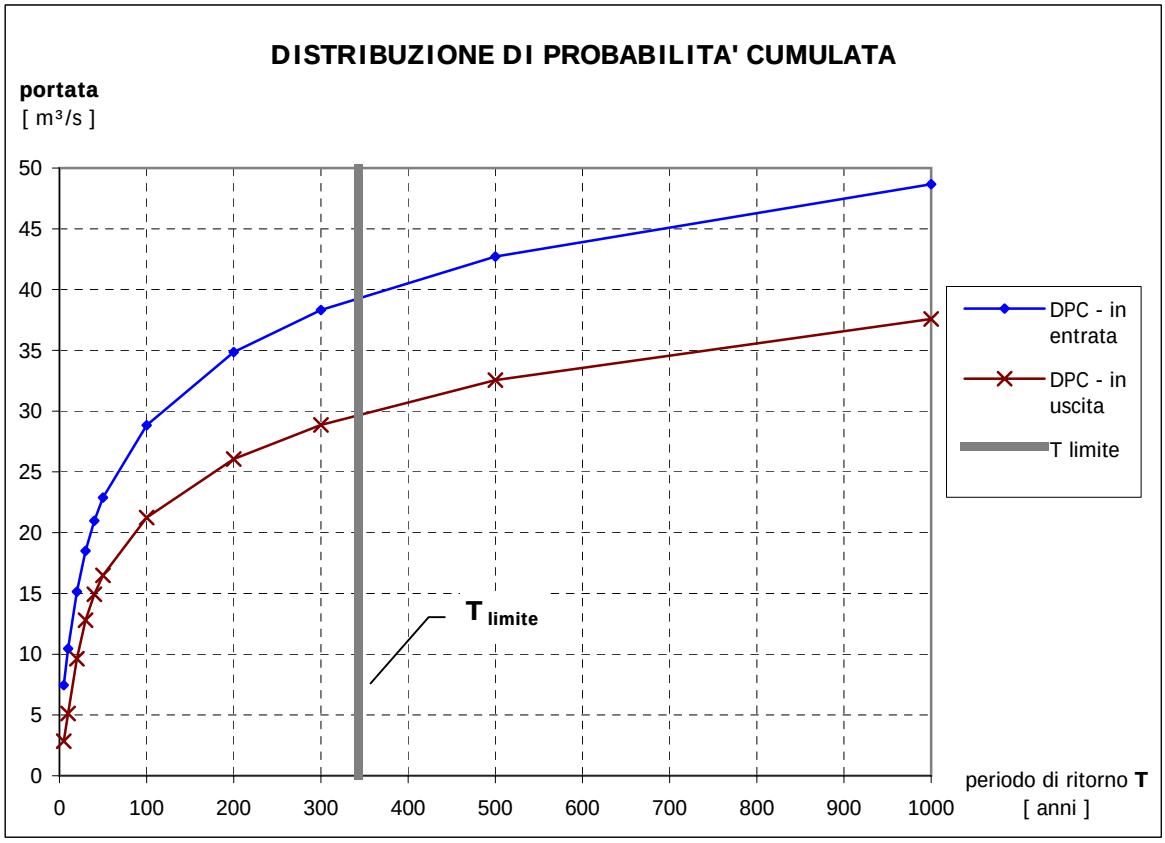

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 1000 anni
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

DIGA DI **LAGO CINGINO**

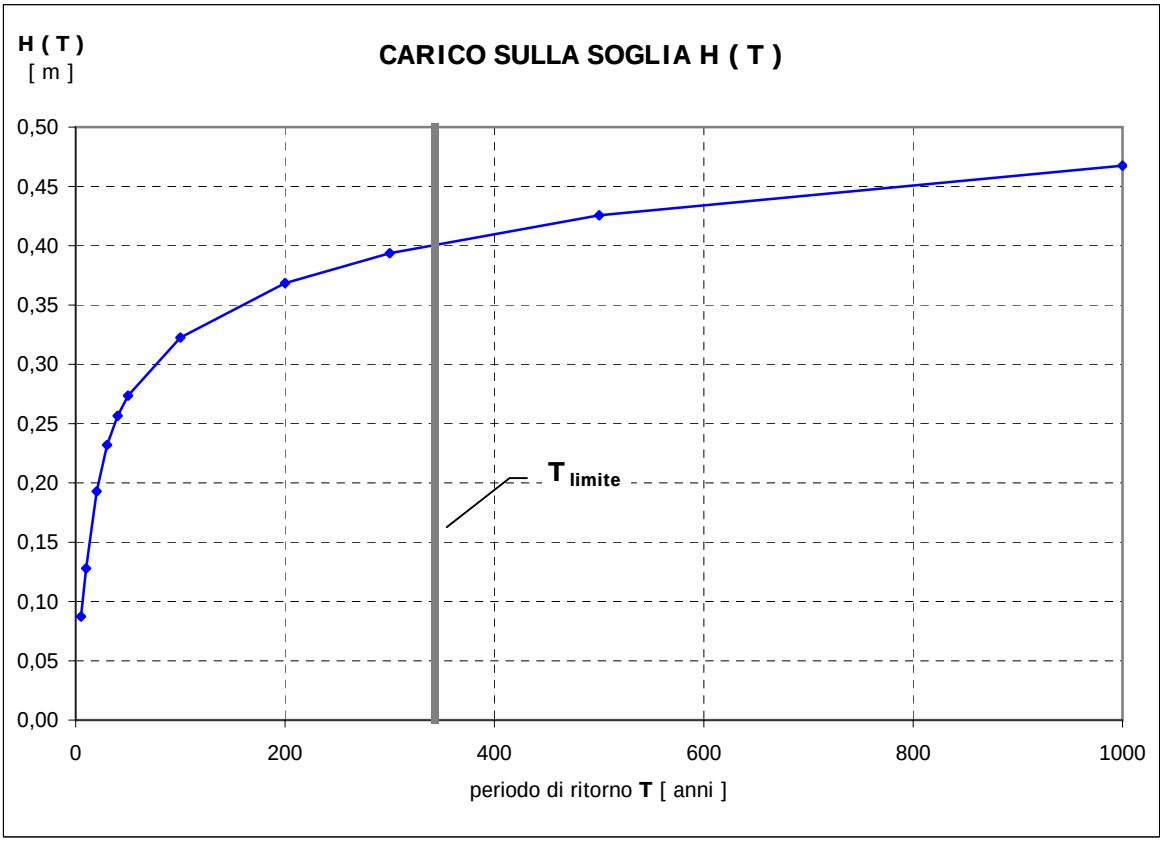


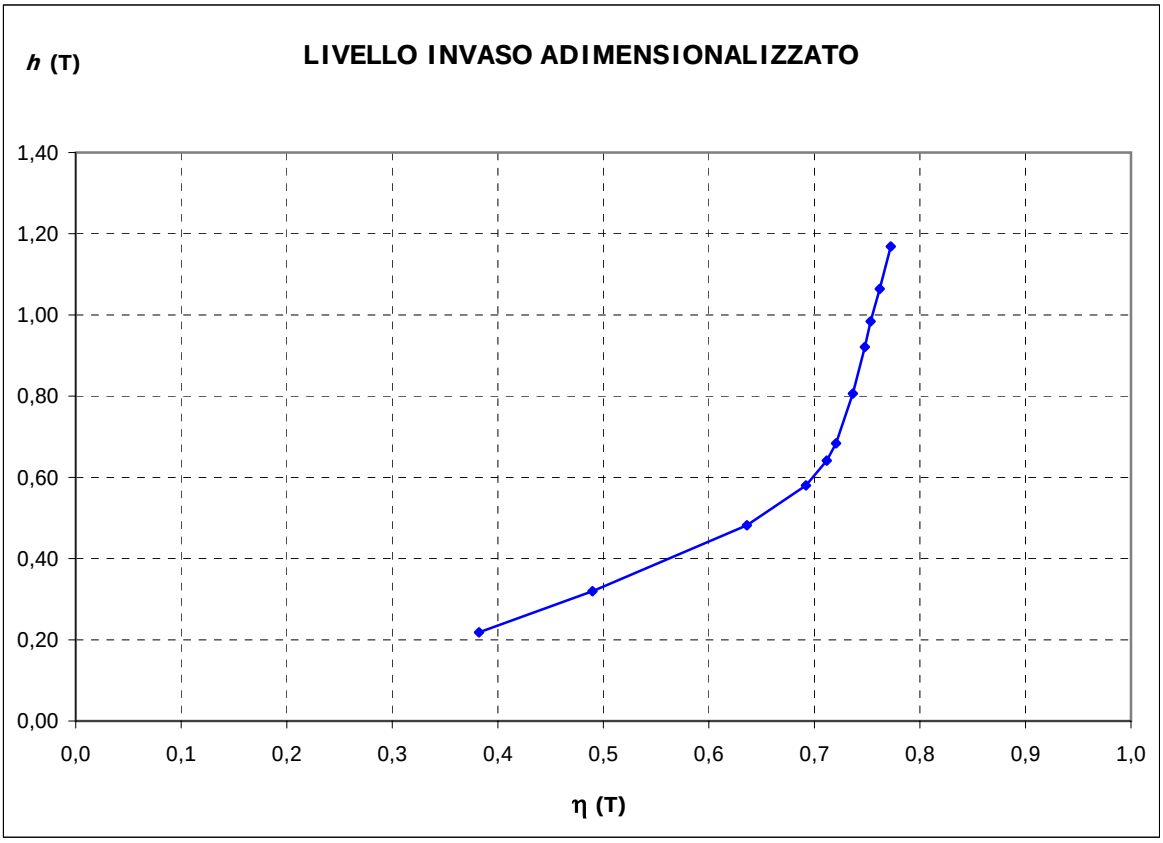
DIGA DI LAGO CINGINO



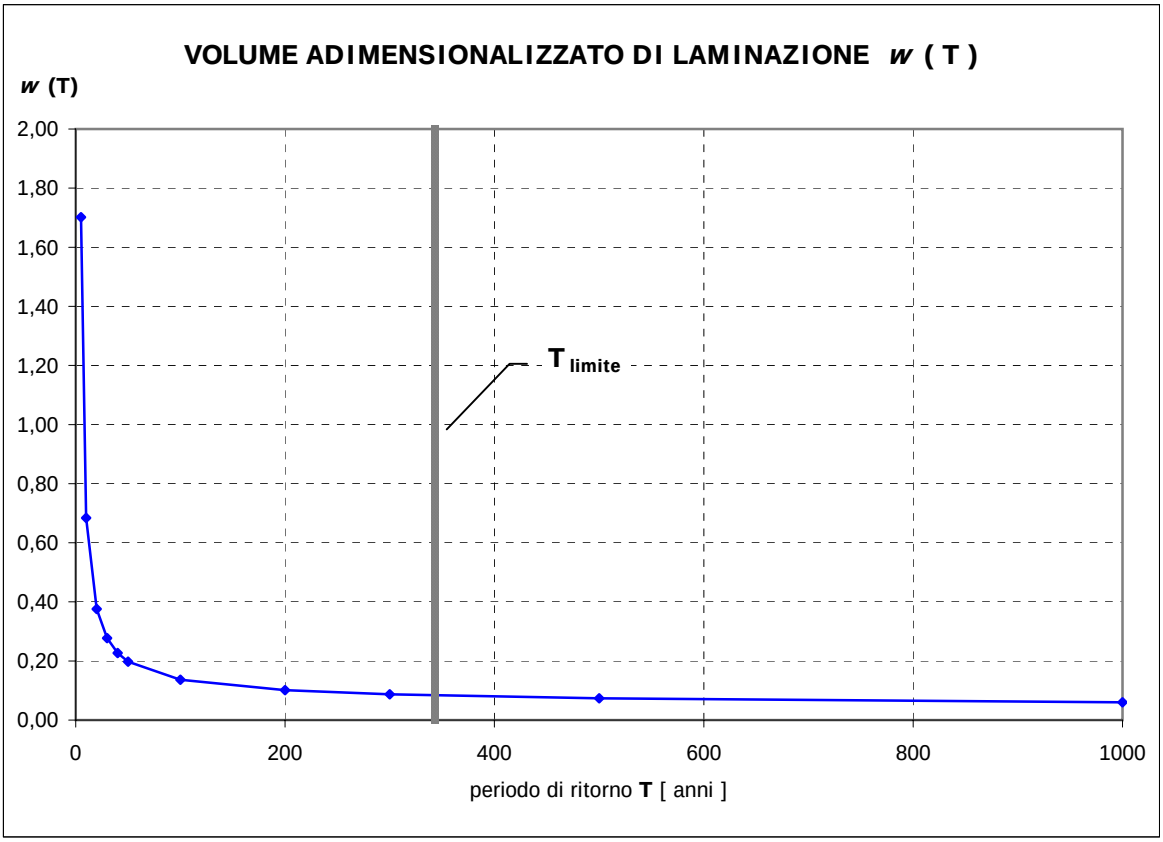


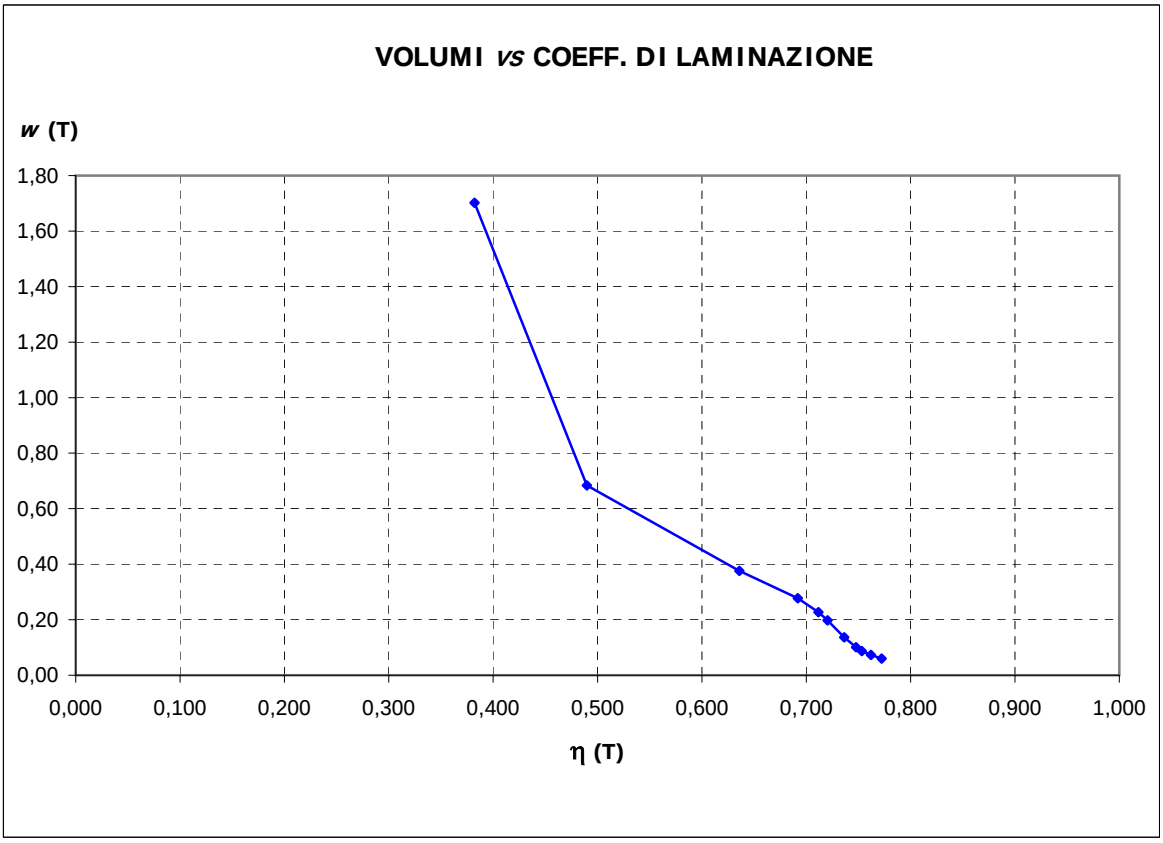
DIGA DI LAGO CINGINO





DIGA DI LAGO CINGINO





LAMINAZIONE

Diga con paramento murario sbrecciato, non più utilizzabile come invaso. Il deflusso delle acque in corrispondenza di tale sbarramento è di tipo naturale, senza possibilità di invaso temporaneo.

DIGA DI LAGO D'AVINO

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 9,04 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,29	11,66	2,23	0,191	0,10	12,2	45,9	3,758	0,164
10	1,75	15,82	3,50	0,221	0,13	39,5	61,8	1,566	0,220
20	2,41	21,79	5,85	0,269	0,19	95,3	86,9	0,912	0,309
30	2,89	26,13	7,99	0,306	0,23	148,4	106,8	0,720	0,380
40	3,25	29,38	9,83	0,335	0,26	195,4	122,6	0,627	0,436
50	3,54	32,00	11,43	0,357	0,29	237,8	135,5	0,570	0,481
100	4,43	40,05	16,84	0,421	0,37	393,8	175,3	0,445	0,621
200	5,32	48,09	22,40	0,466	0,45	590,4	211,9	0,359	0,750
300	5,84	52,79	25,54	0,484	0,49	724,6	231,3	0,319	0,817
500	6,49	58,67	29,28	0,499	0,54	913,0	253,4	0,278	0,895
1000	7,38	66,72	34,22	0,513	0,59	1208,7	281,2	0,233	0,991
1153	*7,41*	*66,99*	*34,60*	*0,517*	*0,60*	*1219,4*	*283,3*	*0,232*	*0,999*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,54 #

area totale del bacino **A** = 5,32 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,61 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,497 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 1,005 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,46 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 2220,42 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 2246,60 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 5,200 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 2,678E-03 Mm³

esponente **m1** = 2,322 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 2246,60 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 5,25 Mm³

carico massimo sulla soglia: 0,60 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 75,263 m³/s

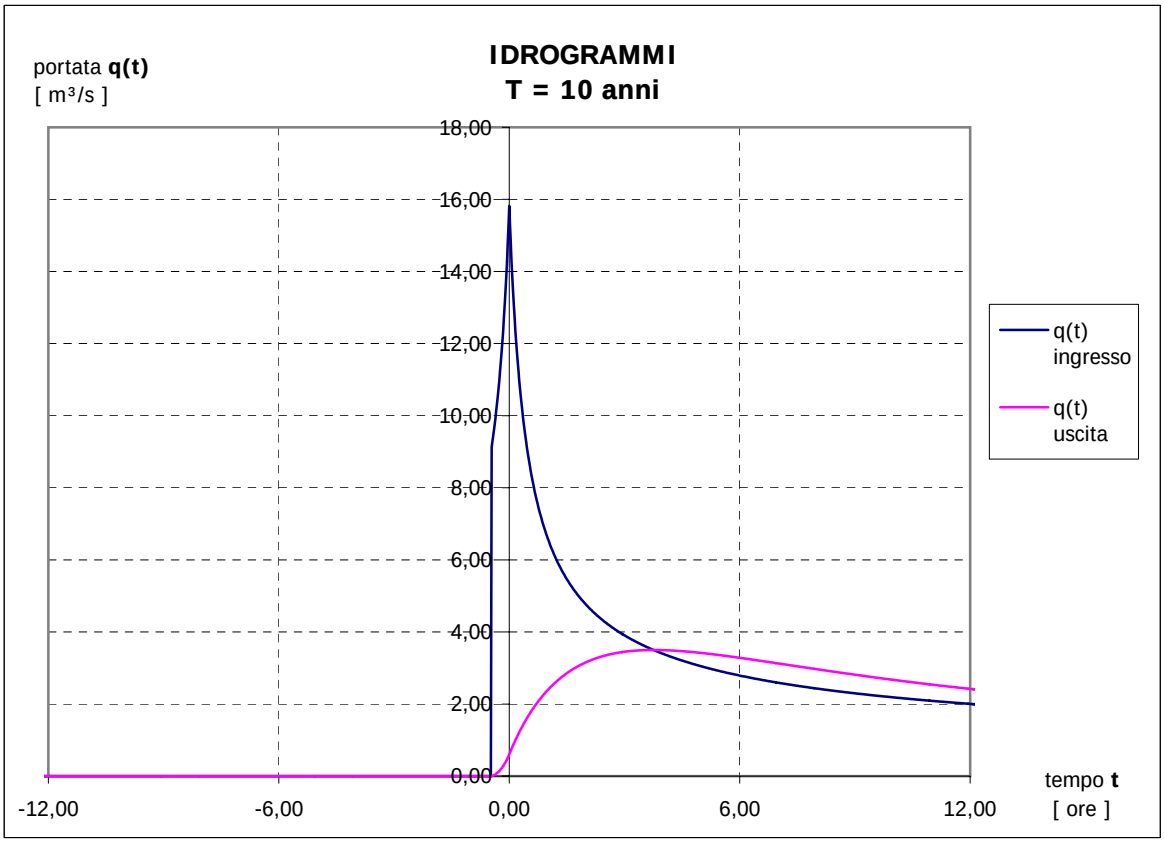
esponente **n1** = 1,517 #

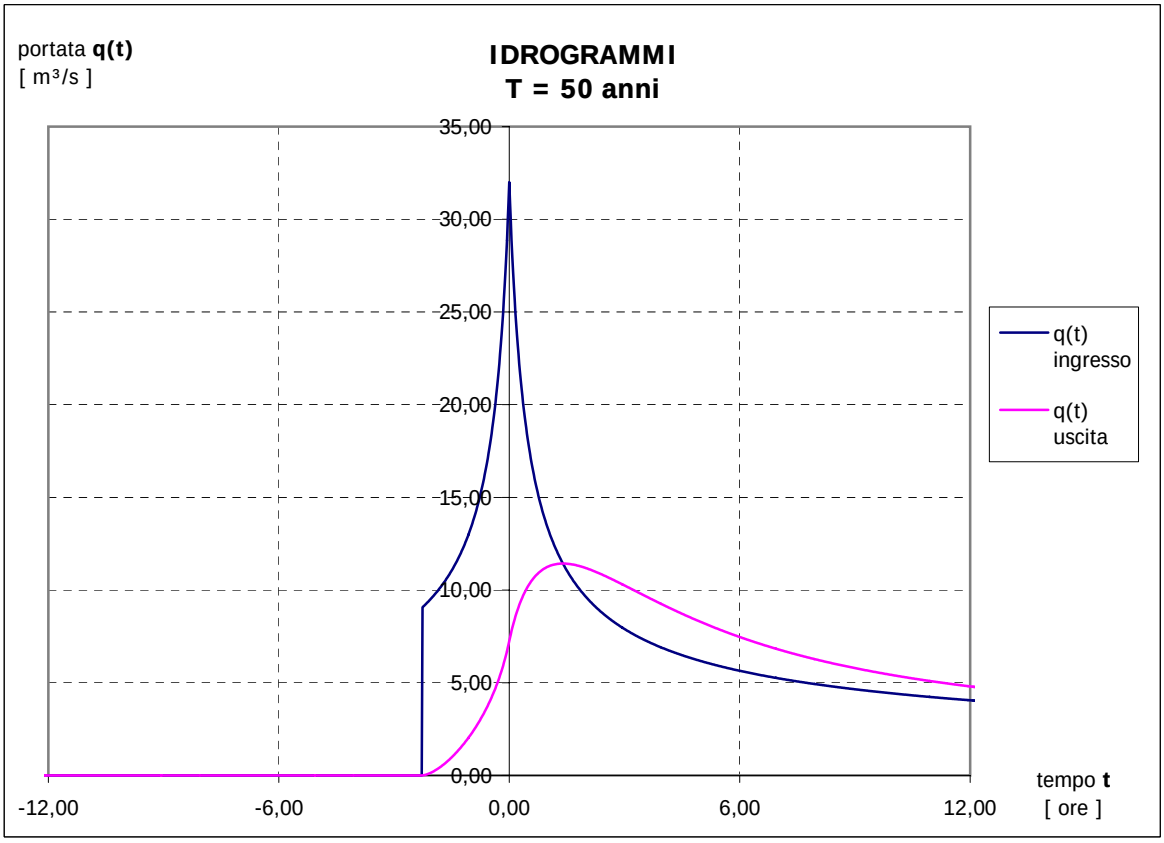
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

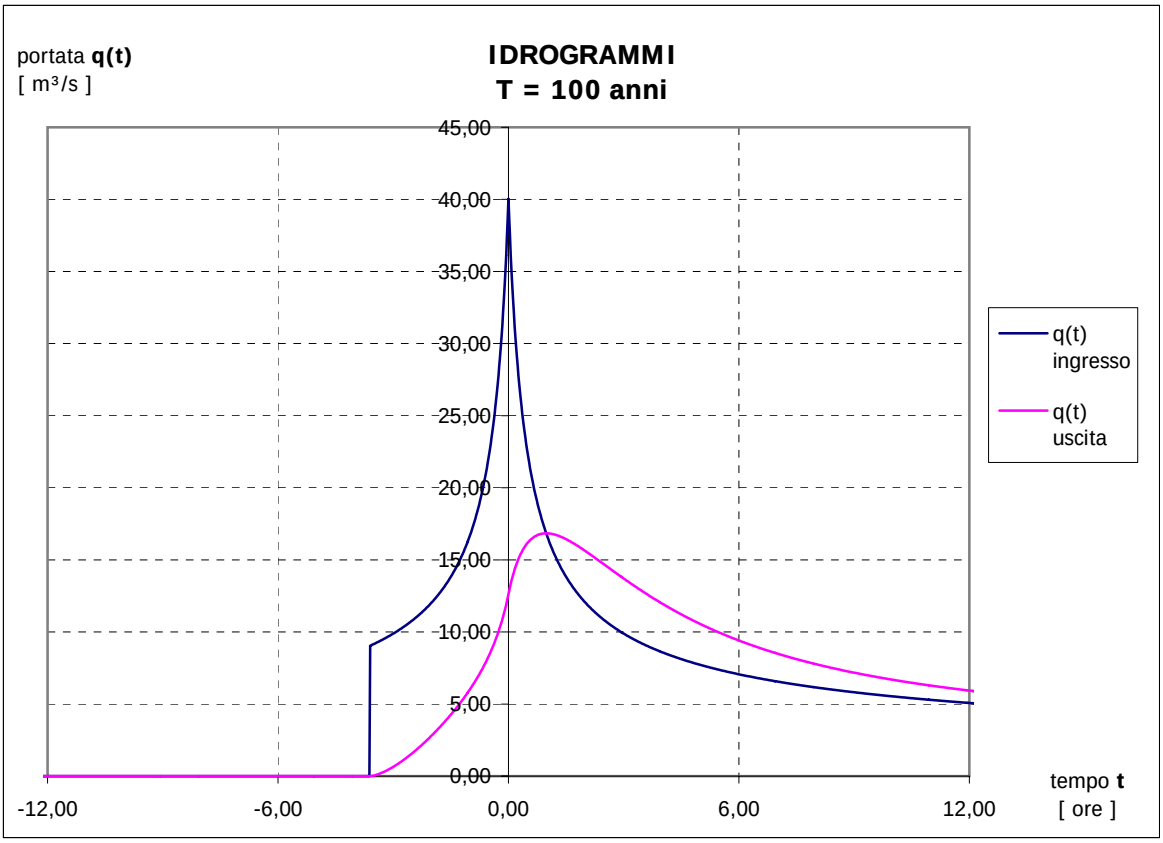
portata al colmo Q_T = **66,99** m³ / s

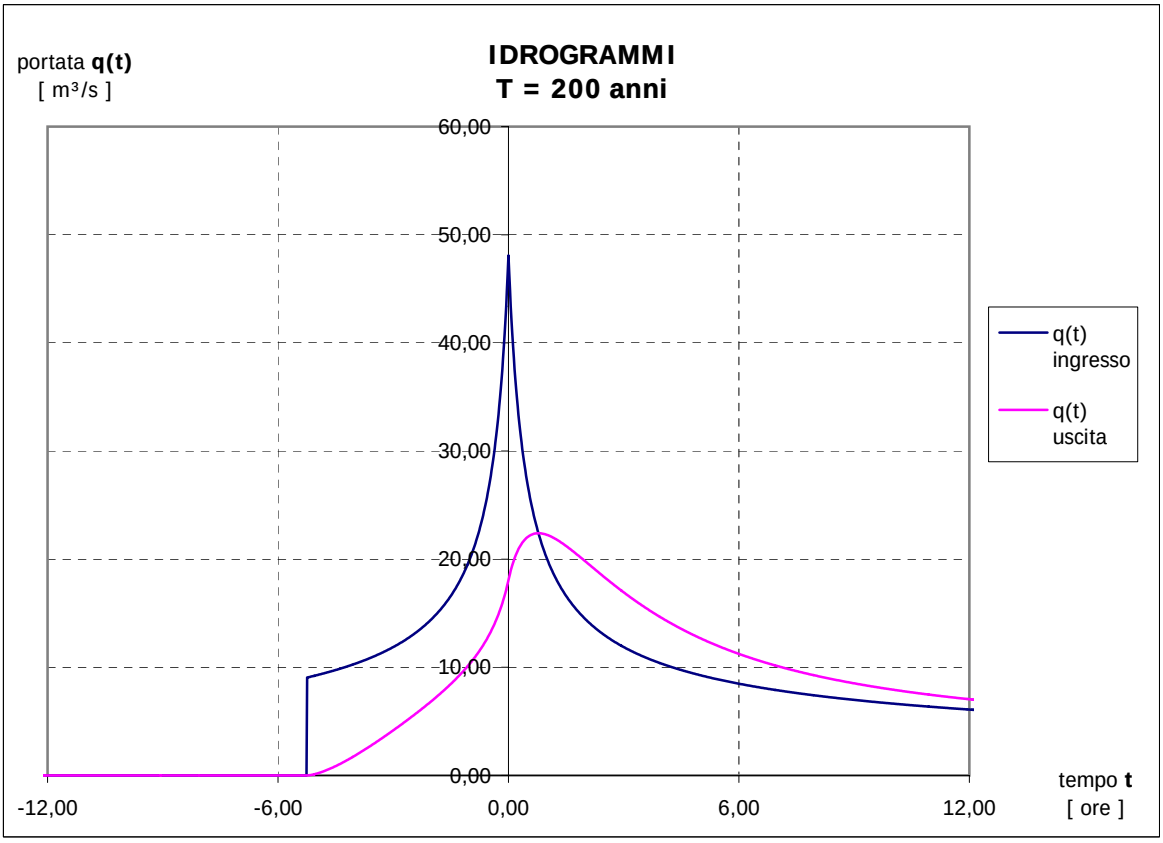
fattore di crescita K_T = **7,41**

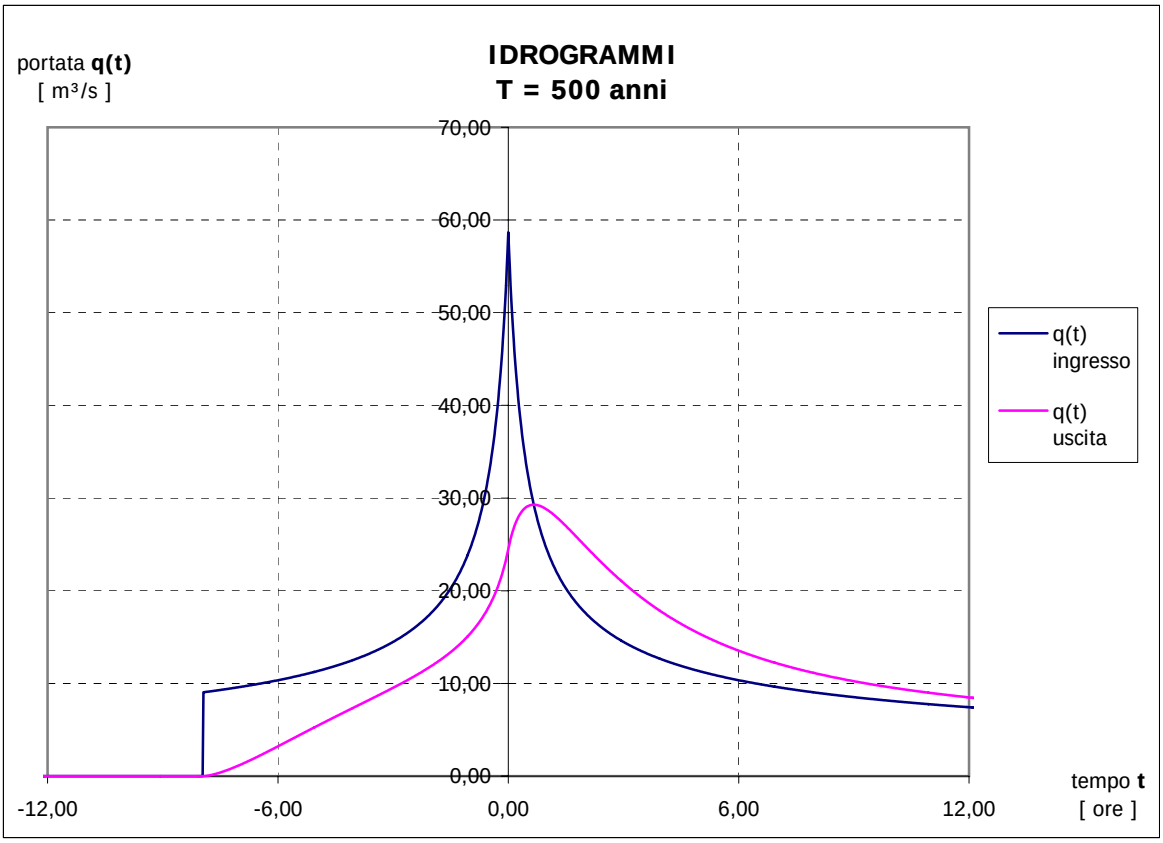
tempo di ritorno stimato **T** = **1153** anni

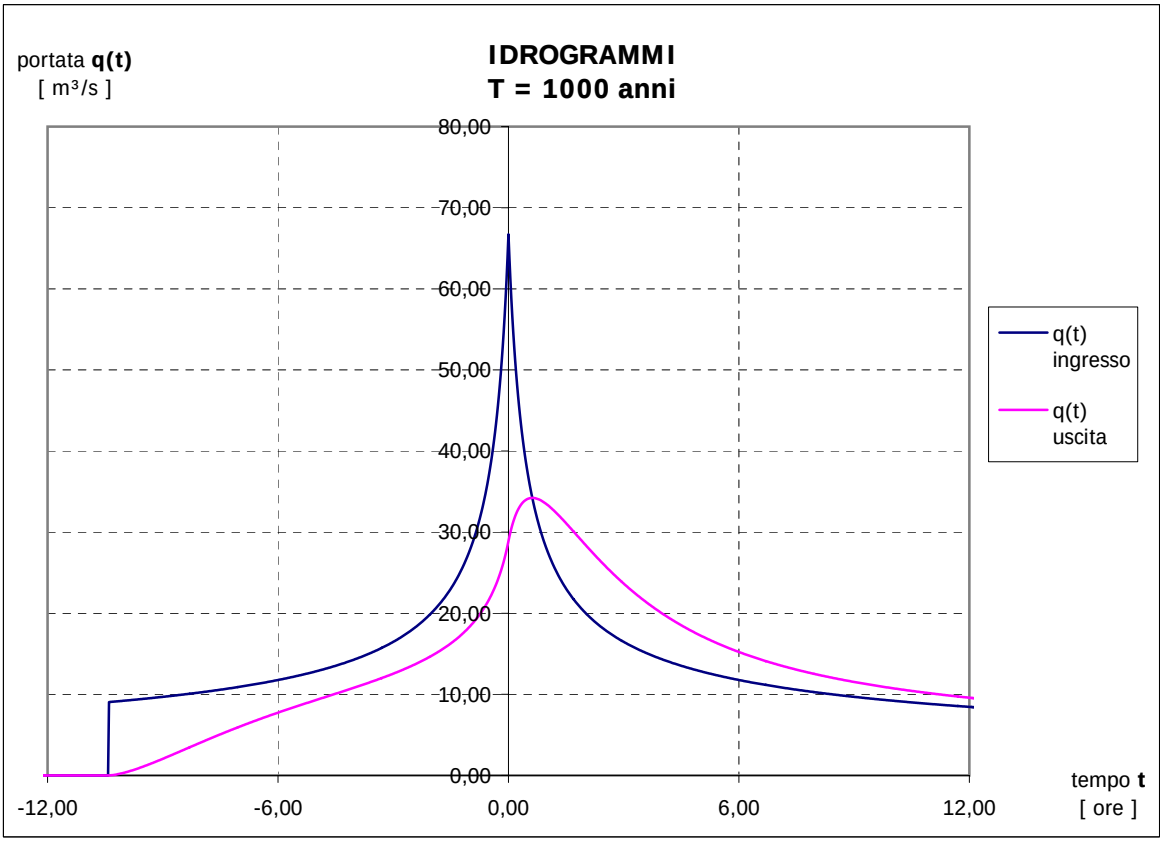

IDROGRAMMI
T = 10 anni
portata q(t)
[m³/s]
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


IDROGRAMMI
T = 50 anni
portata q(t)
[m³/s]
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

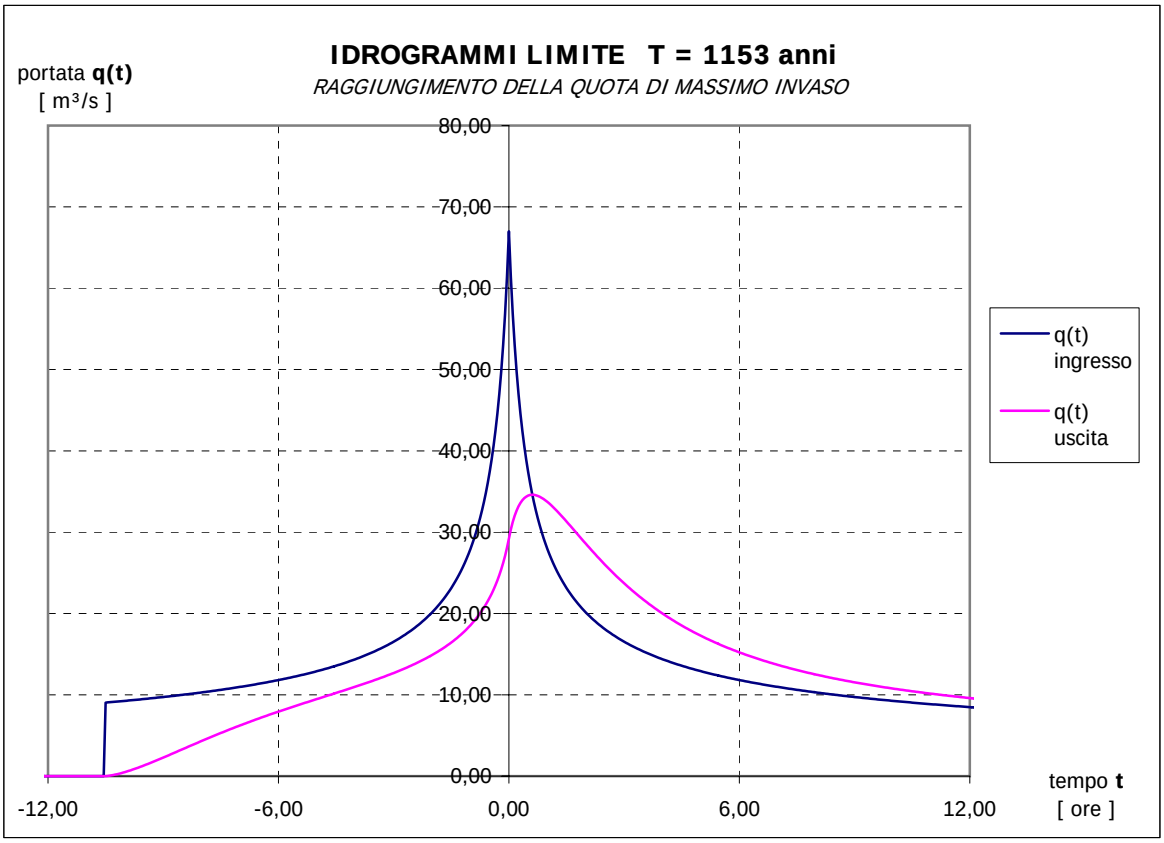

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 100 anni
45,00
40,00
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

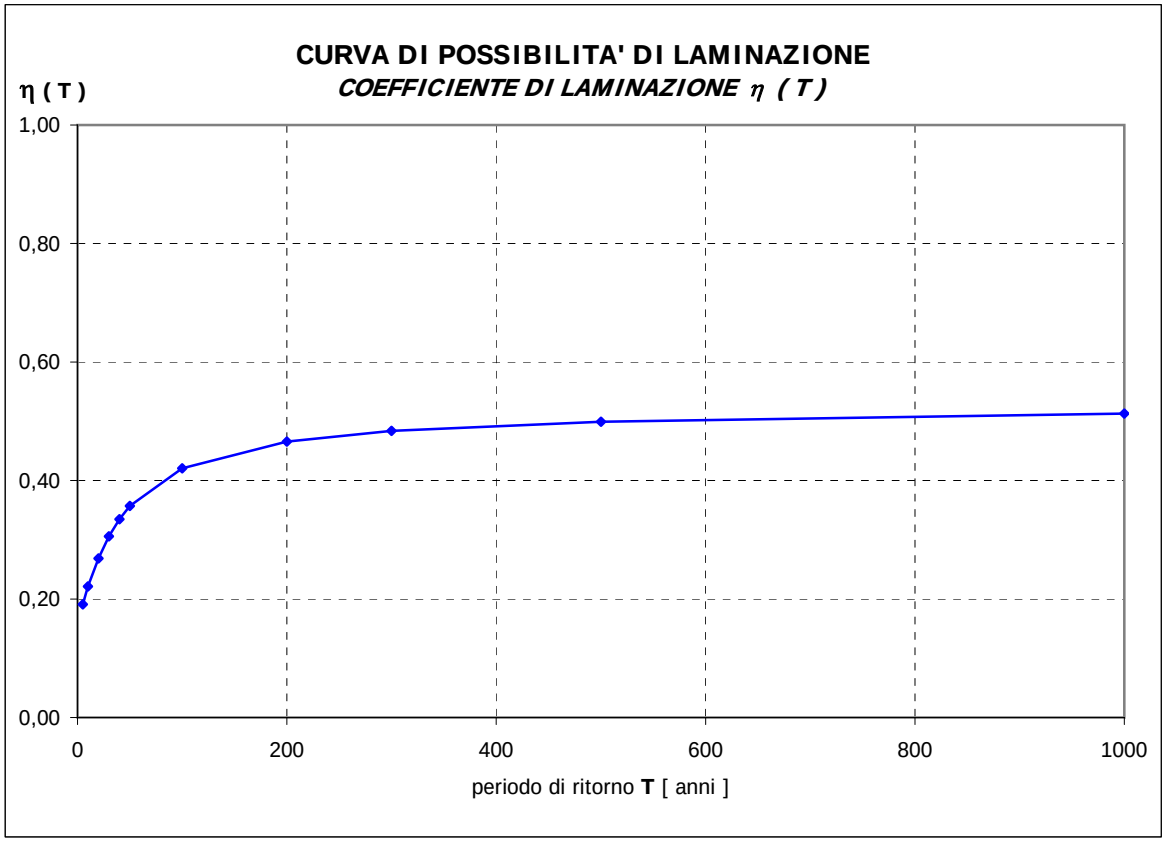

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 200 anni
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

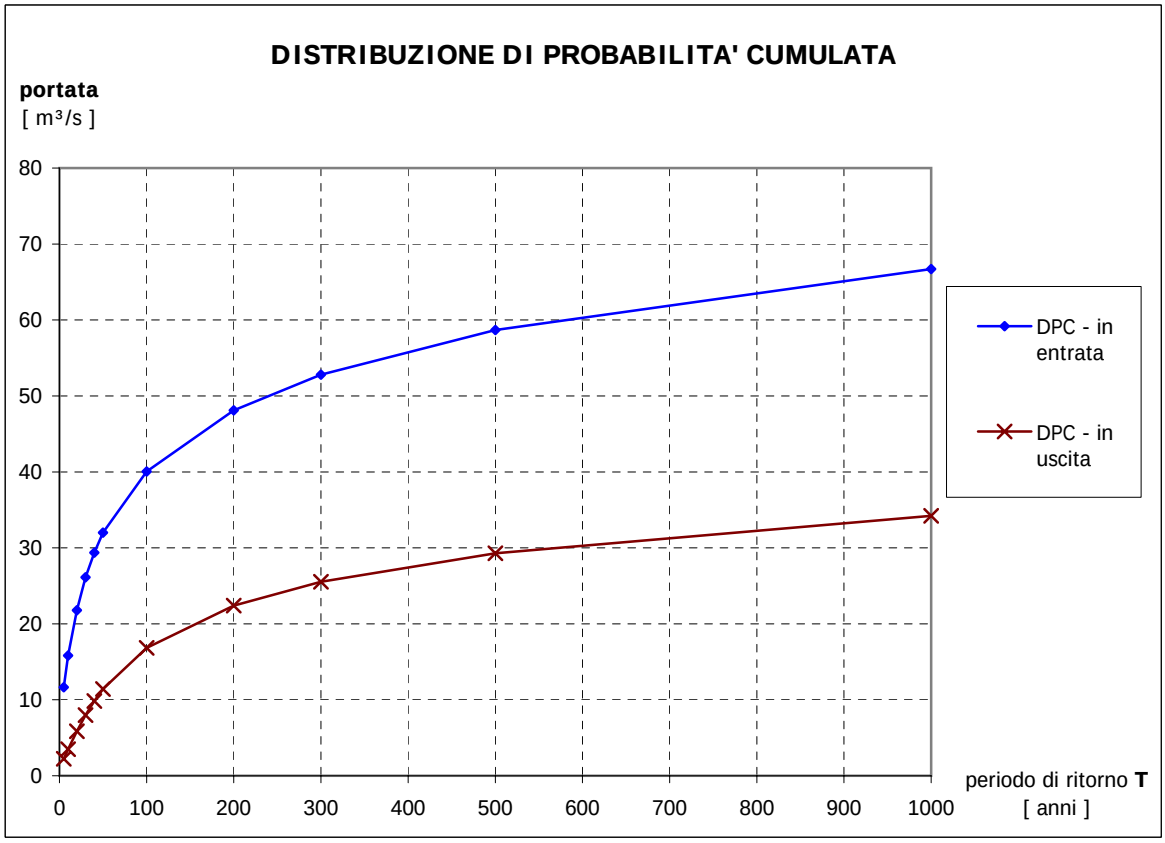

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 500 anni
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 1000 anni
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

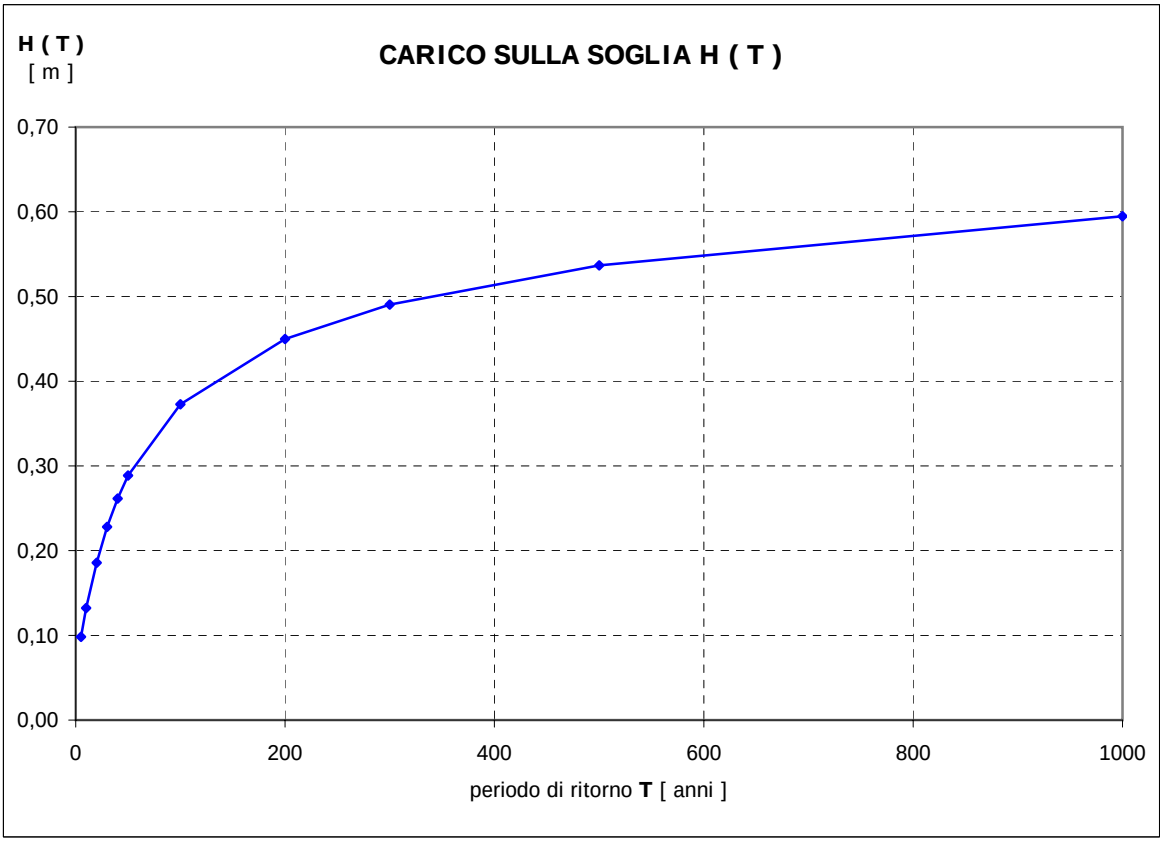
DIGA DI LAGO D'AVINO

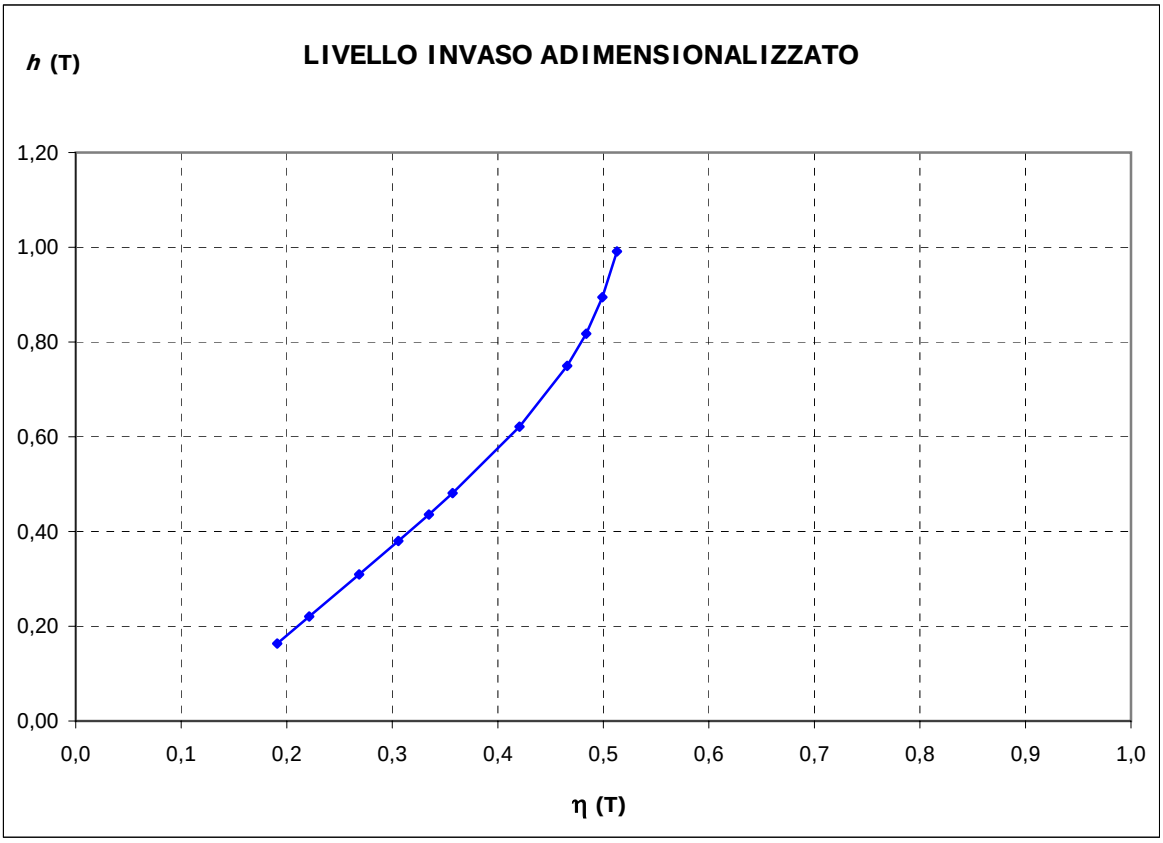


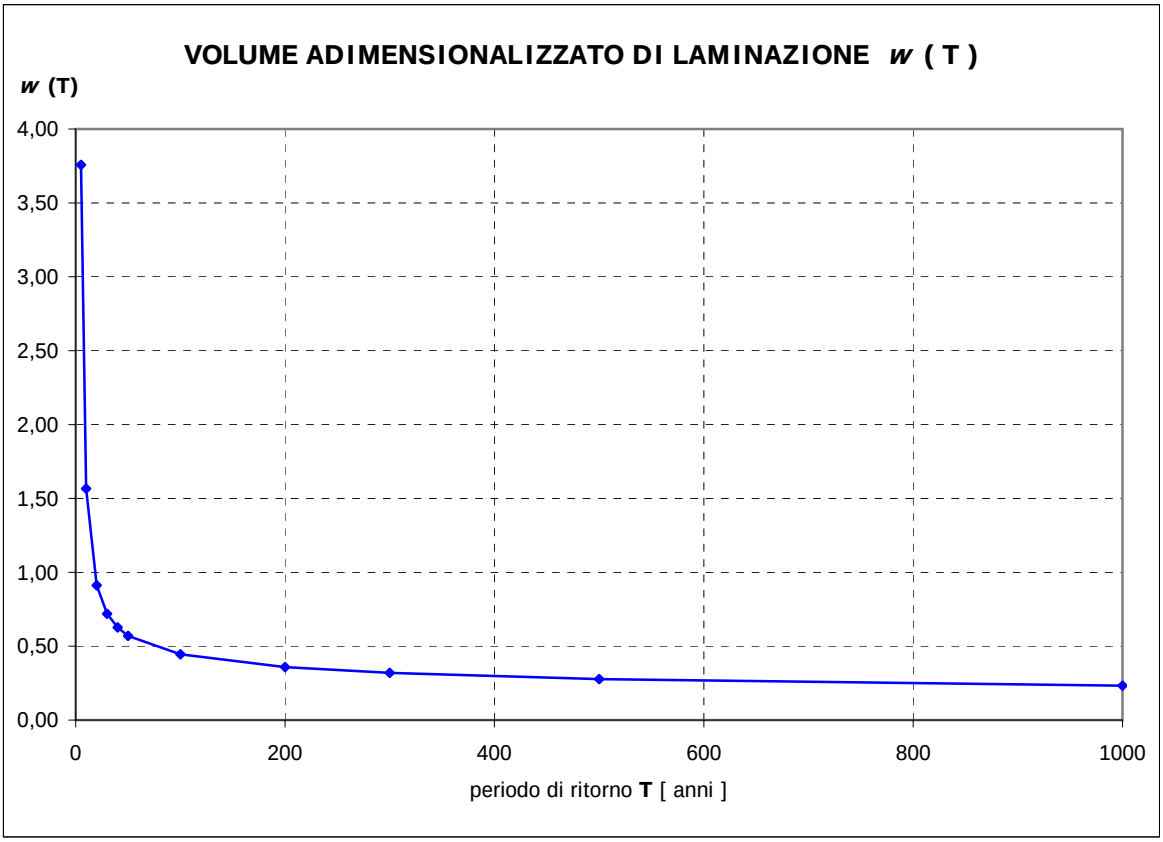

CURVA DI POSSIBILITA' DI LAMINAZIONE
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE η (T)
η (T)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]

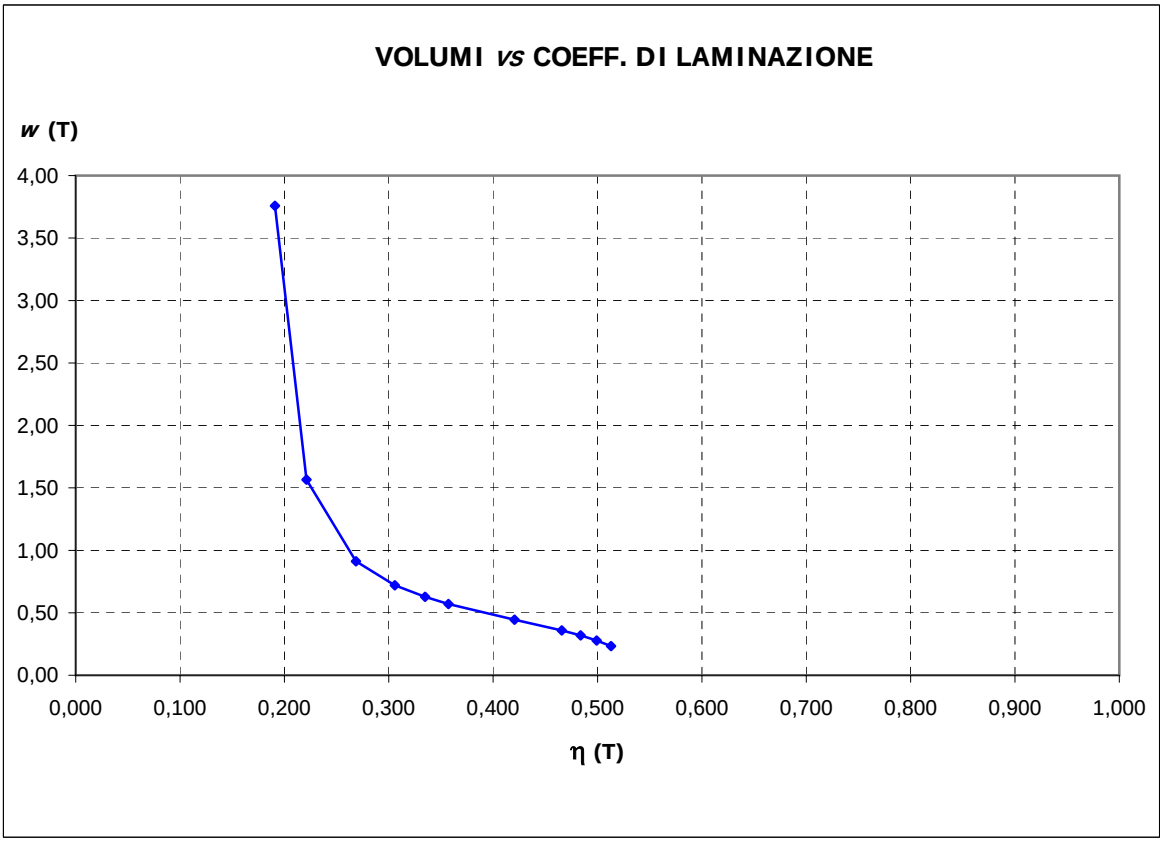

DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' CUMULATA
portata
[m³/s]
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
periodo di ritorno T
[anni]
DPC - in entrata
DPC - in uscita

DIGA DI LAGO D'AVINO






VOLUME ADIMENSIONALIZZATO DI LAMINAZIONE w (T)
w (T)
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]


VOLUMI vs COEFF. DI LAMINAZIONE
w (T)
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0,000
0,100
0,200
0,300
0,400
0,500
0,600
0,700
0,800
0,900
1,000
η (T)

DIGA DI MORASCO

LAMINAZIONE 1° SCARICO DI SUPERFICIE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 42,59 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,20	51,10	16,13	0,316	0,33	82,1	205,3	2,501	0,344
10	1,86	79,21	33,65	0,425	0,55	456,1	341,4	0,749	0,571
20	3,05	129,89	74,82	0,576	0,96	1469,7	594,2	0,404	0,990
30	3,83	163,11	102,49	0,628	1,19	2346,8	739,4	0,315	1,231
40	4,37	186,11	120,80	0,649	1,34	3047,7	828,9	0,272	1,378
50	4,80	204,42	134,92	0,660	1,44	3659,3	895,2	0,245	1,488
100	6,10	259,78	176,34	0,679	1,74	5790,6	1078,8	0,186	1,790
200	7,41	315,57	218,05	0,691	2,01	8357,6	1251,1	0,150	2,072
300	8,17	347,94	242,59	0,697	2,16	10035,6	1347,9	0,134	2,230
500	9,13	388,82	274,14	0,705	2,35	12350,1	1468,3	0,119	2,427
1000	10,42	443,76	316,55	0,713	2,60	15797,8	1623,9	0,103	2,680
18	*3,06*	*130,26*	*75,84*	*0,582*	*0,97*	*1478,5*	*599,8*	*0,406*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,46 #

area totale del bacino **A** = 35,26 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,58 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 1,305 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,383 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,54 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1771,30 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1816,74 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 18,400 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 4,877E-02 Mm³

esponente **m1** = 1,552 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 1815,77 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 17,62 Mm³

carico massimo sulla soglia: 0,97 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 79,297 m³/s

esponente **n1** = 1,449 #

PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

portata al colmo Q_T = **130,26** m³ / s

fattore di crescita K_T = **3,06**

tempo di ritorno stimato **T** = **18** anni

DIGA DI MORASCO

LAMINAZIONE - 1° SC. SUP. + 1° SC. ALLEGG.

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 42,59 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,20	51,10	6,28	0,123	0,79	82,1	466,2	5,679	0,184
10	1,86	79,21	12,56	0,159	1,27	456,1	754,5	1,654	0,297
20	3,05	129,89	27,49	0,212	2,18	1469,7	1302,0	0,886	0,510
30	3,83	163,11	39,94	0,245	2,82	2346,8	1691,4	0,721	0,660
40	4,37	186,11	49,68	0,267	3,28	3047,7	1971,8	0,647	0,767
50	4,80	204,42	66,68	0,326	3,55	3659,3	2142,4	0,585	0,832
100	6,10	259,78	134,91	0,519	4,17	5790,6	2522,9	0,436	0,976
200	7,41	315,57	205,97	0,653	4,66	8357,6	2827,5	0,338	1,090
300	8,17	347,94	238,88	0,687	4,86	10035,6	2954,6	0,294	1,138
500	9,13	388,82	274,84	0,707	5,07	12350,1	3086,6	0,250	1,187
1000	10,42	443,76	319,26	0,719	5,32	15797,8	3241,8	0,205	1,245
110	*6,31*	*268,90*	*148,79*	*0,553*	*4,27*	*6181,6*	*2586,7*	*0,418*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,46 #

area totale del bacino **A** = 35,26 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,58 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 1,305 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,383 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,54 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1771,30 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1816,74 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 18,400 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 4,877E-02 Mm³

esponente **m1** = 1,552 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di all.: 1812,47 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di all.: 15,63 Mm³

carico massimo sulla soglia: 4,27 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1 sup** = 79,297 m³/s

esponente **n1 sup** = 1,449 #

quota soglia scarico di sup.: 1815,77 m s.l.m.

coefficiente **c1 all** = 8,886 m³/s

esponente **n1 all** = 1,451 #

PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

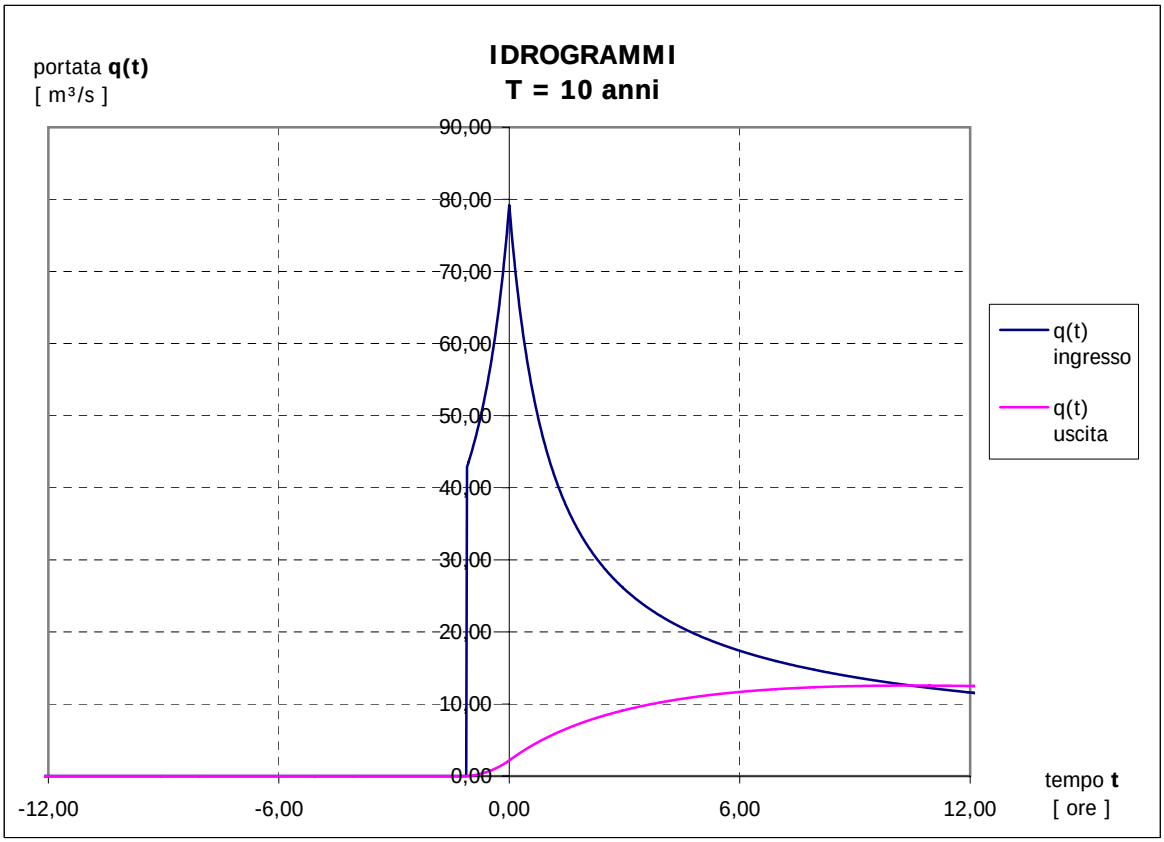
portata al colmo Q_T = **268,90** m³ / s

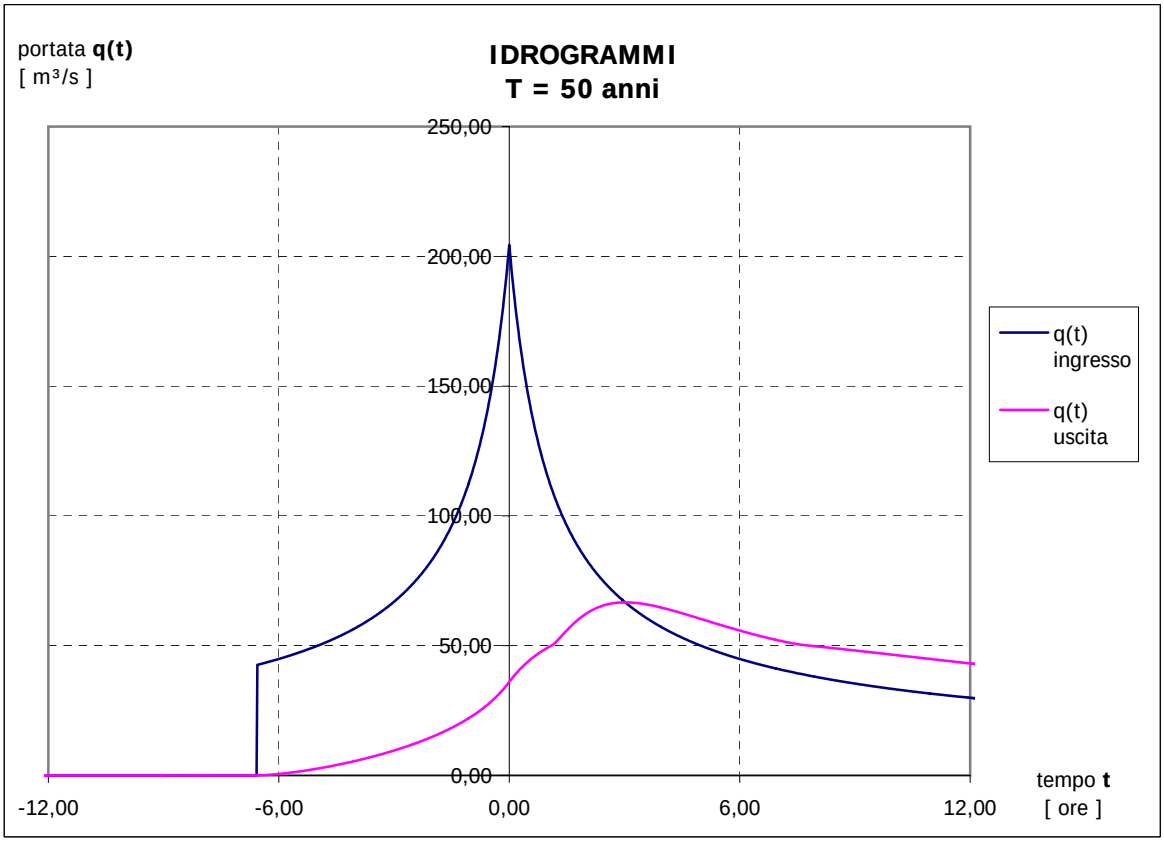
fattore di crescita K_T = **6,31**

tempo di ritorno stimato **T** = **110** anni

DIGA DI MORASCO

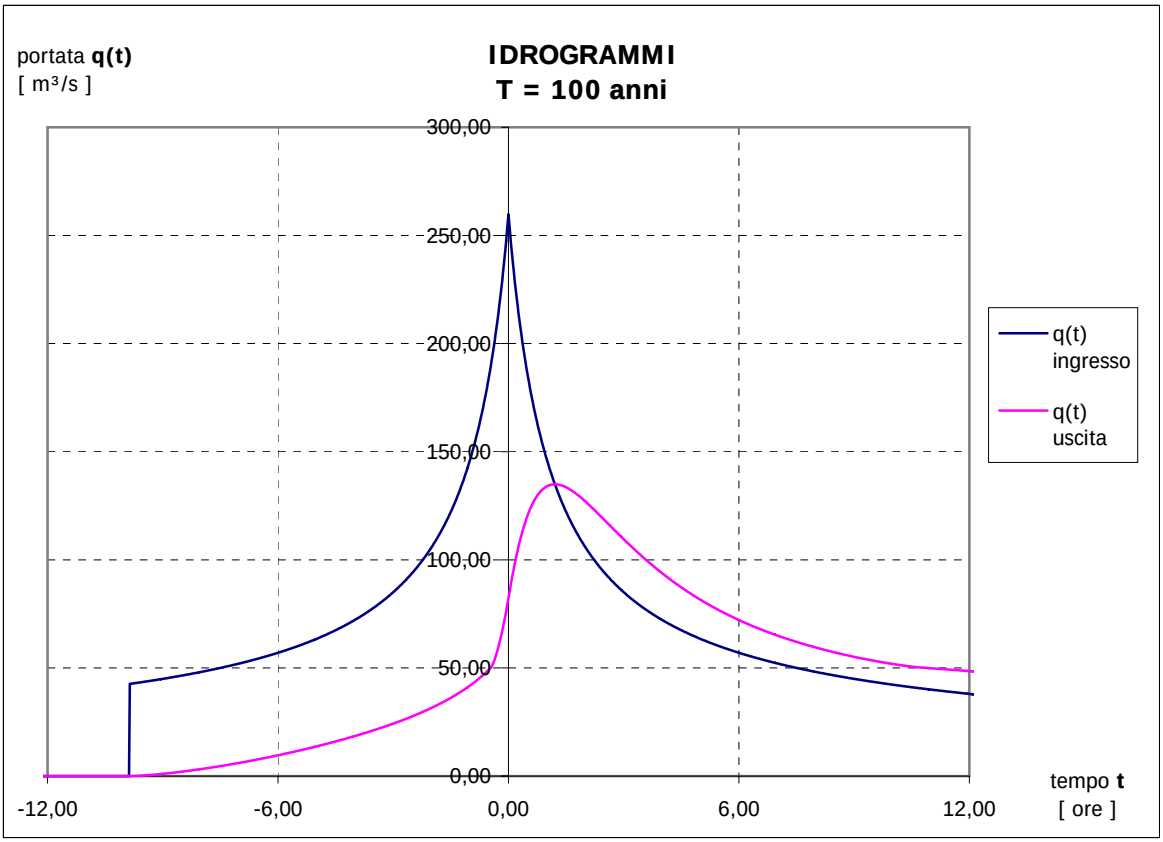
LAMINAZIONE - 2°1°SC. SUP. + 1° SC. ALLEGG.

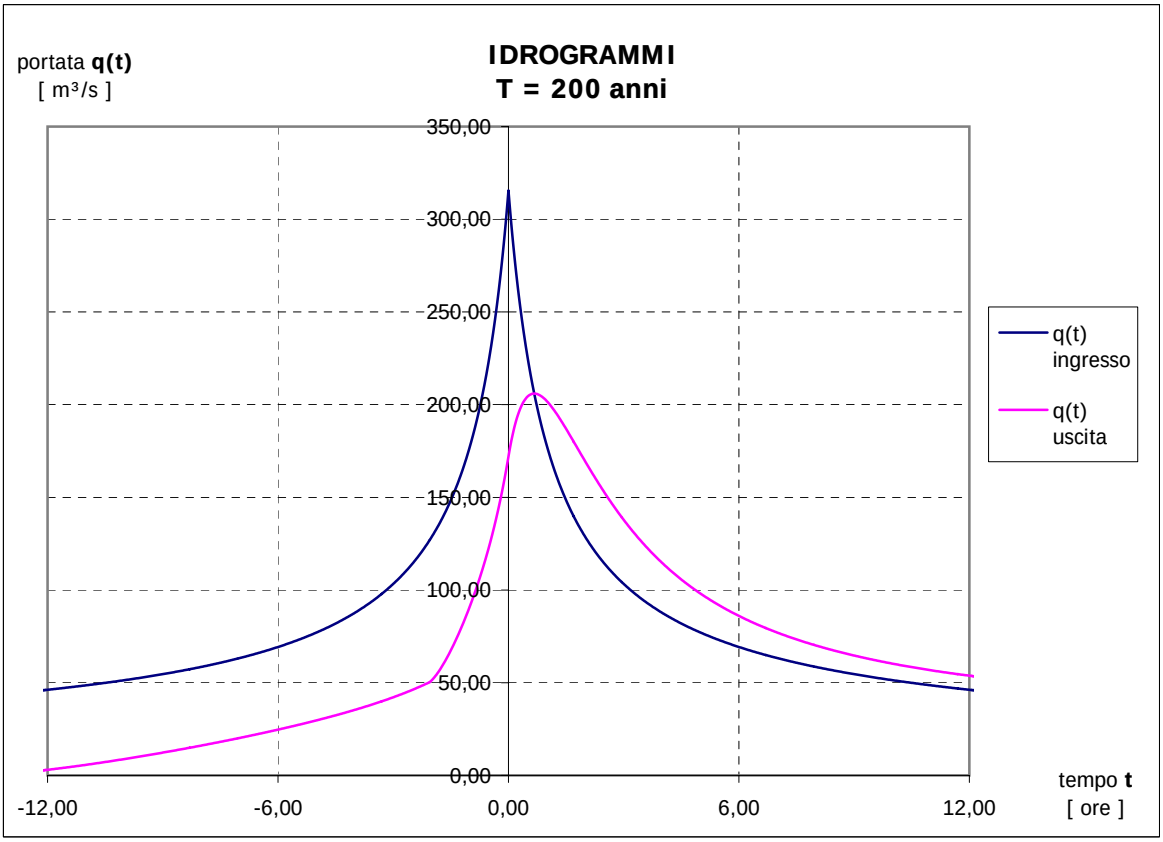




DIGA DI MORASCO

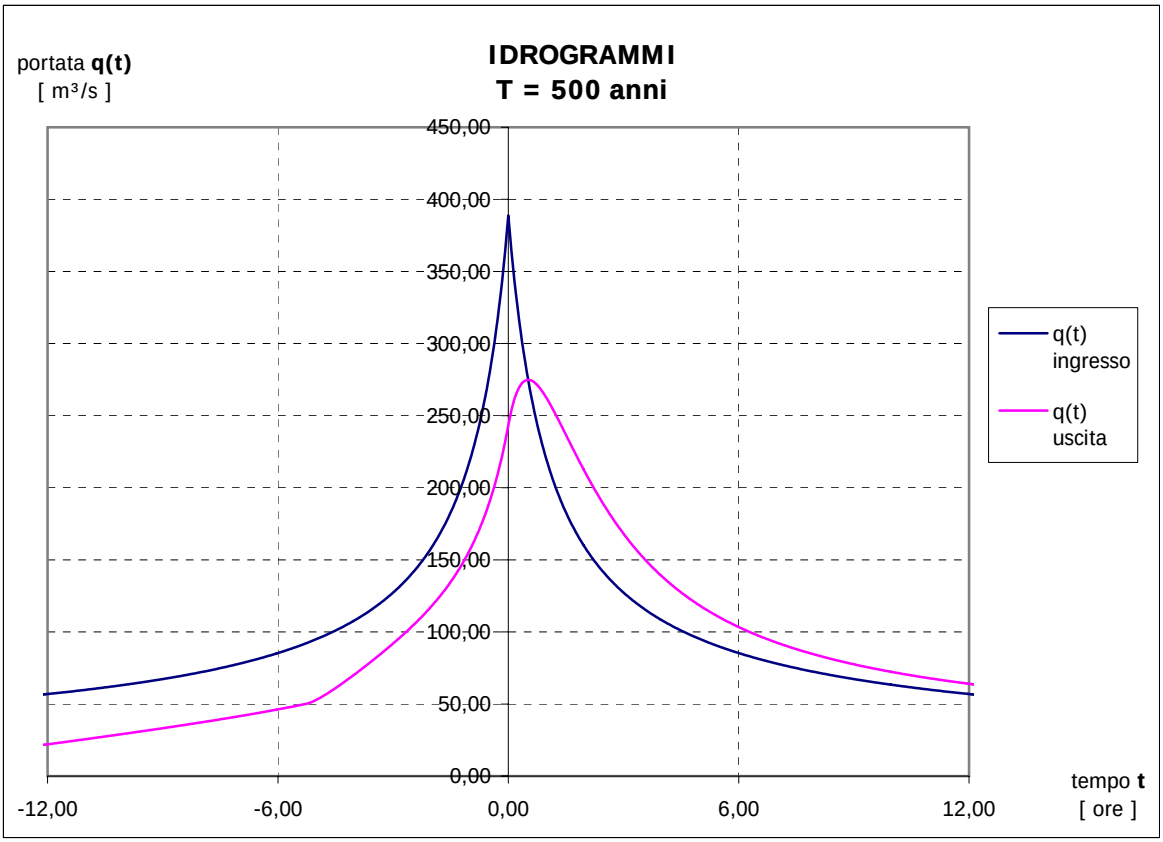
LAMINAZIONE - 2°1°sc. Sup. + 1° sc. Allegg.

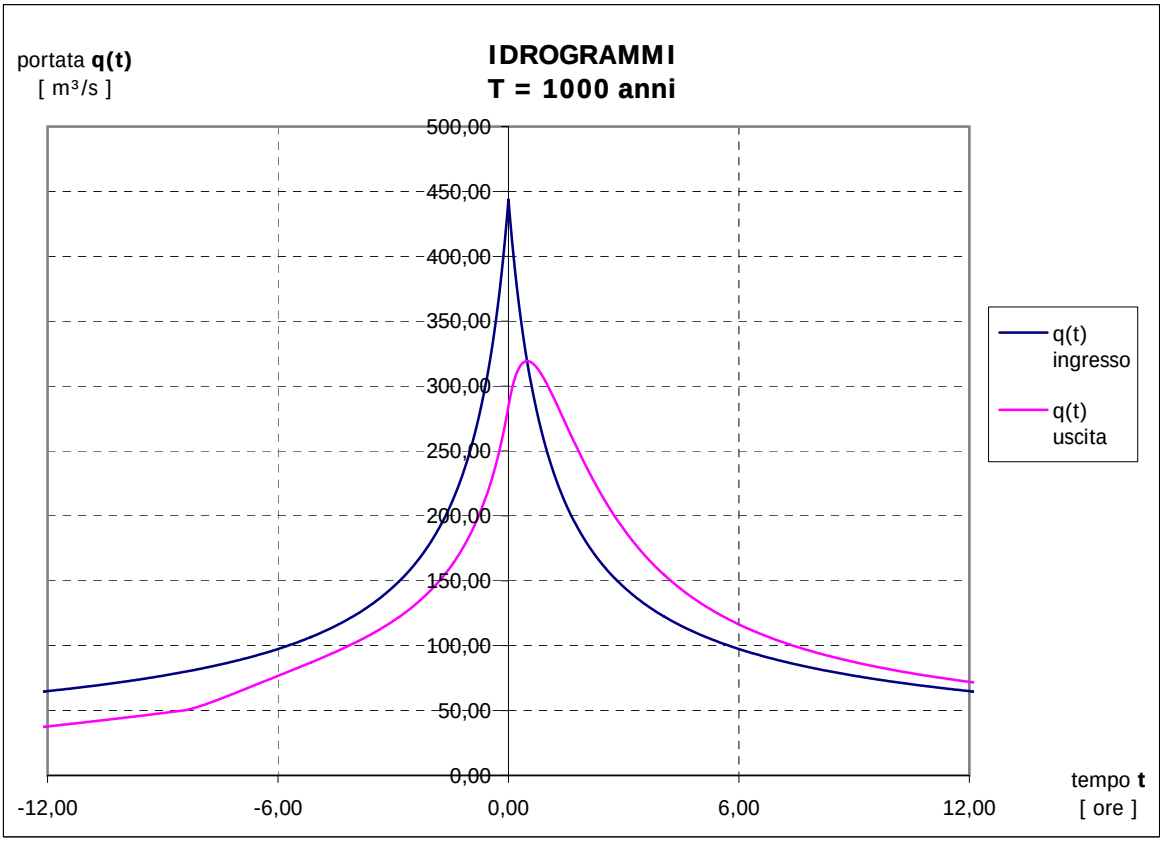




DIGA DI MORASCO

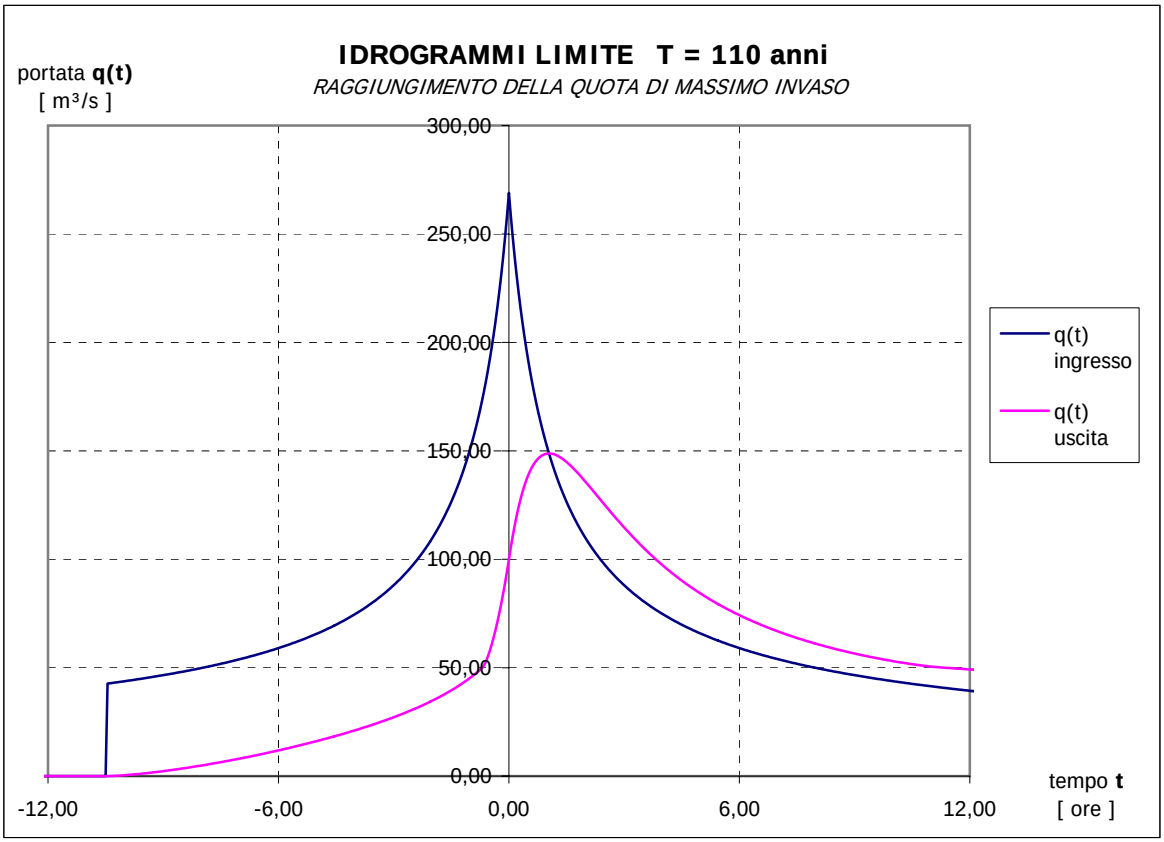
LAMINAZIONE - 2°1°sc. Sup. + 1° sc. Allegg.





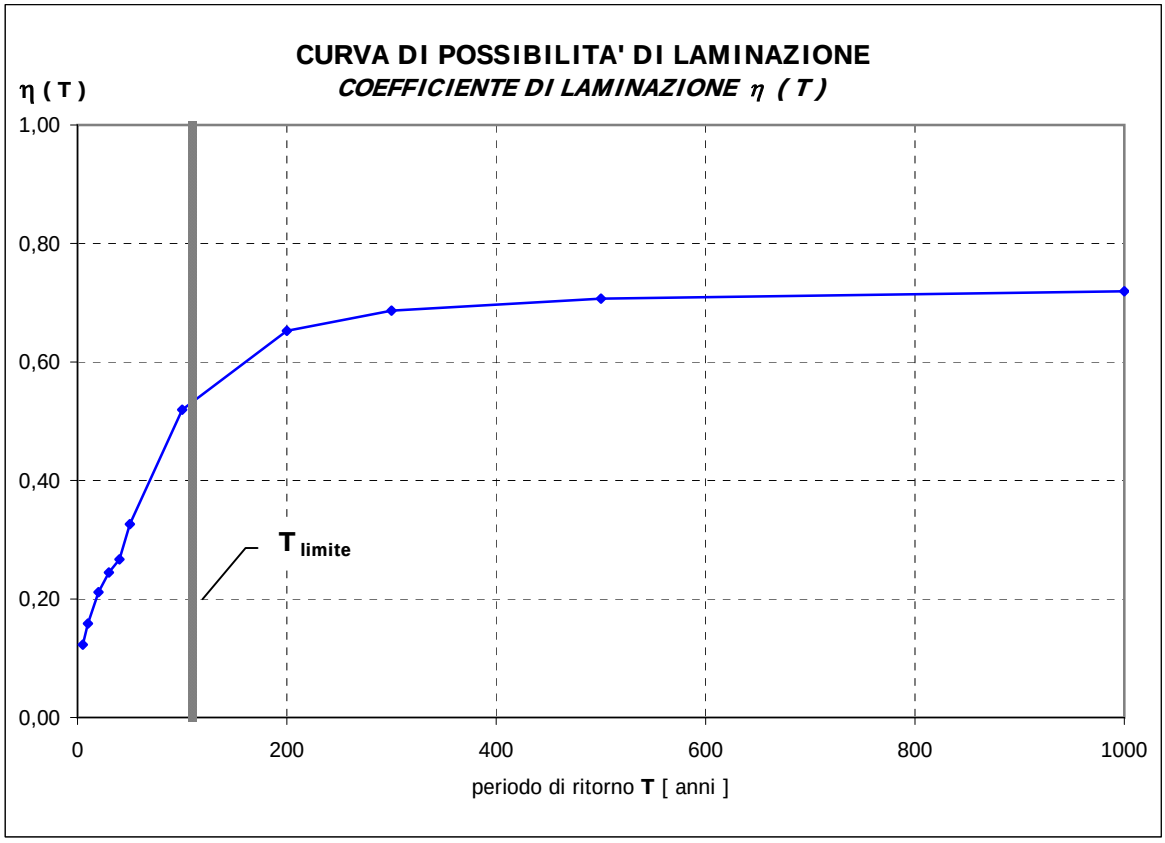
DIGA DI **MORASCO**

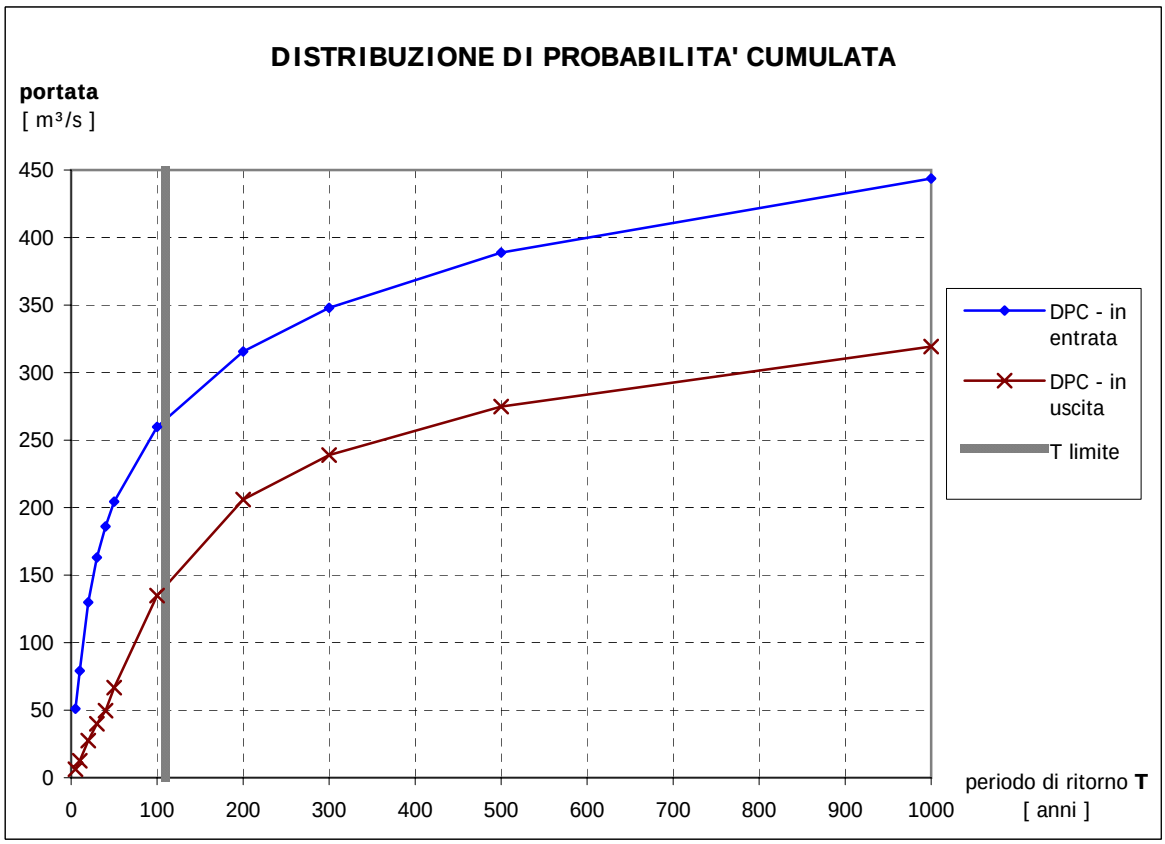
LAMINAZIONE - 2°1°SC. SUP. + 1° SC. ALLEGG.



DIGA DI MORASCO

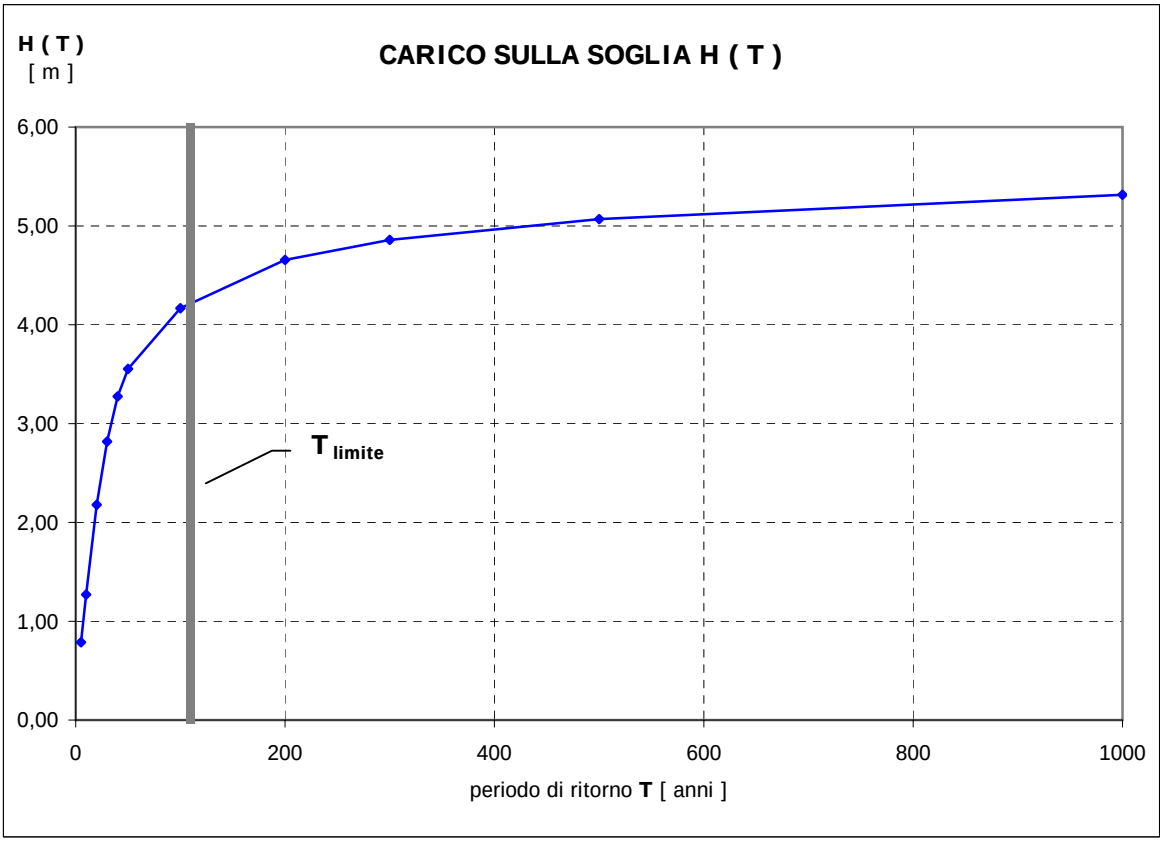
LAMINAZIONE - 2°1°sc. Sup. + 1° sc. Allegg.

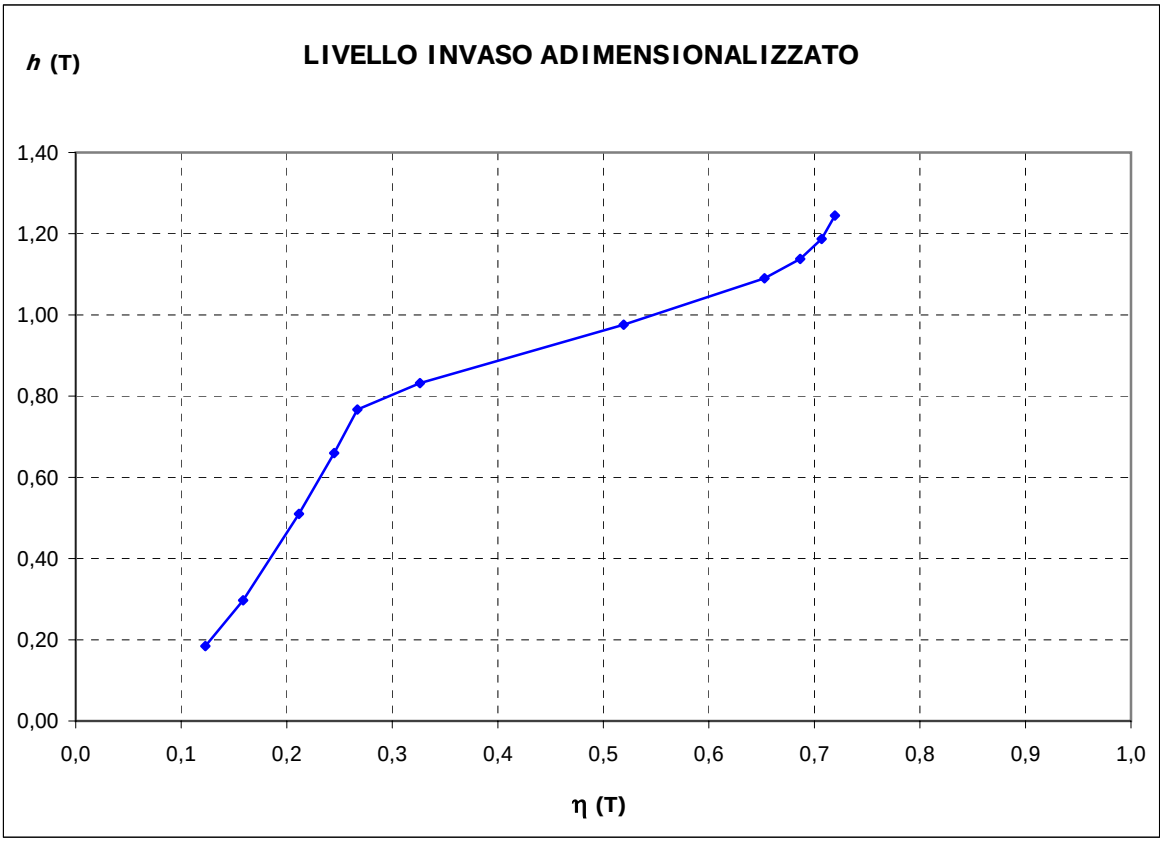




DIGA DI MORASCO

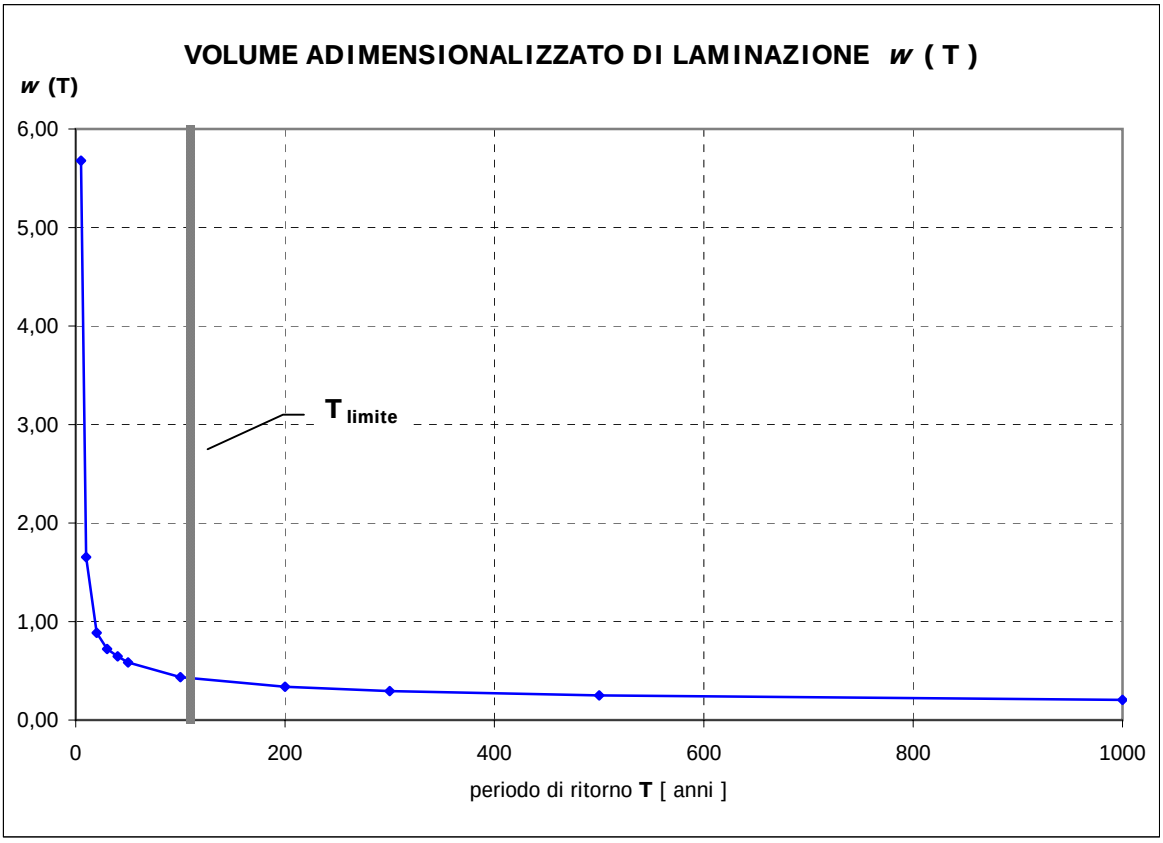
LAMINAZIONE - 2°1°sc. Sup. + 1° sc. Allegg.

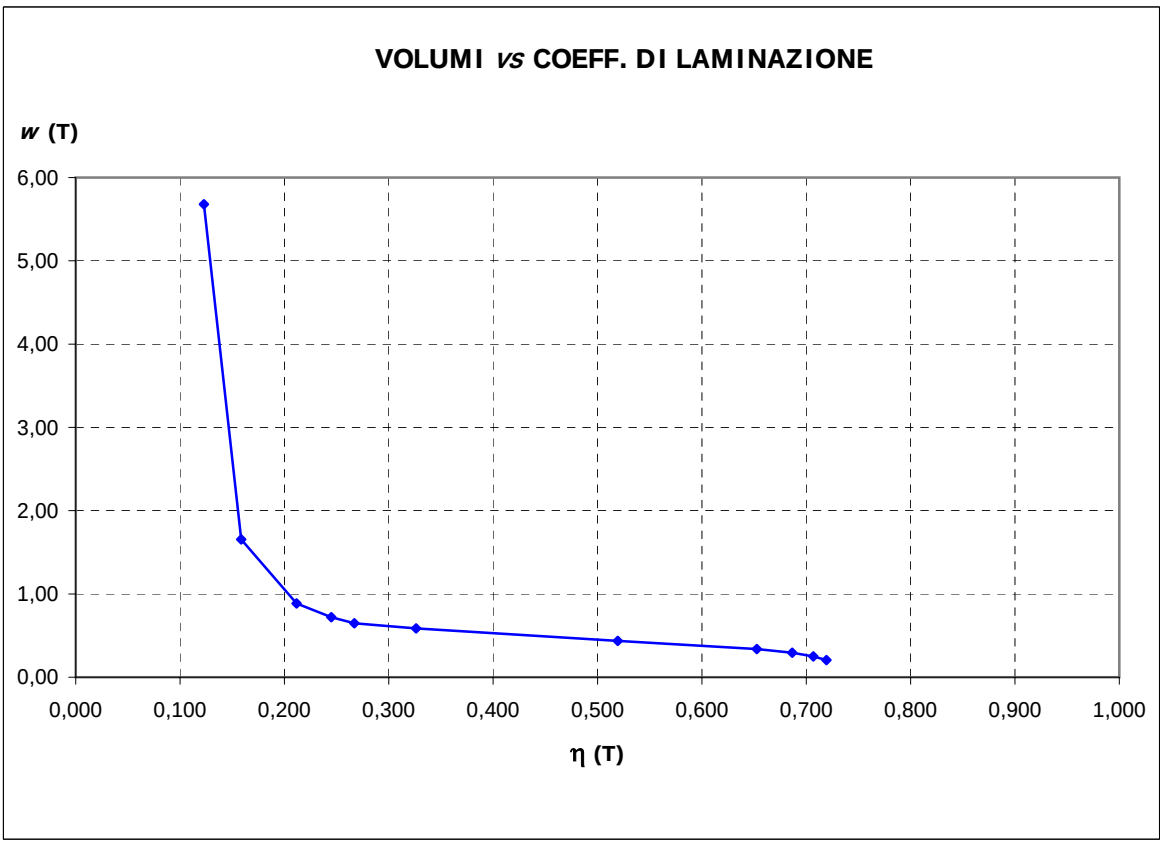




DIGA DI MORASCO

LAMINAZIONE - 2°1°sc. Sup. + 1° sc. Allegg.





DIGA DI OBERSEE

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 6,25 m^3 / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m^3/s]	$Q_{D,T,max}$ [m^3/s]	η [-]	H_{max} [m]
5	1,22	7,63	0,92	0,121	0,11
10	1,82	11,38	1,68	0,148	0,16
20	2,88	18,00	3,49	0,194	0,26
30	3,58	22,38	5,01	0,224	0,33
40	4,08	25,50	6,26	0,246	0,38
50	4,47	27,94	7,34	0,263	0,42
100	5,67	35,44	11,00	0,310	0,56
200	6,87	42,94	15,07	0,351	0,68
300	7,56	47,25	17,47	0,370	0,76
500	8,44	52,75	20,56	0,390	0,84
1000	9,63	60,19	24,63	0,409	0,95
755	9,04	56,53	22,71	0,402	0,90

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,47 #

area totale del bacino **A** = 2,63 km^2

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,55 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,363 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 1,376 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,53 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 2328,50 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 2329,10 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 0,210 Mm^3

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 0,210 Mm^3

esponente **m1** = 1,000 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 2328,50 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 0,00E+00 Mm^3

carico massimo sulla soglia: 0,90 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 26,577 m^3/s

esponente **n1** = 1,500 #

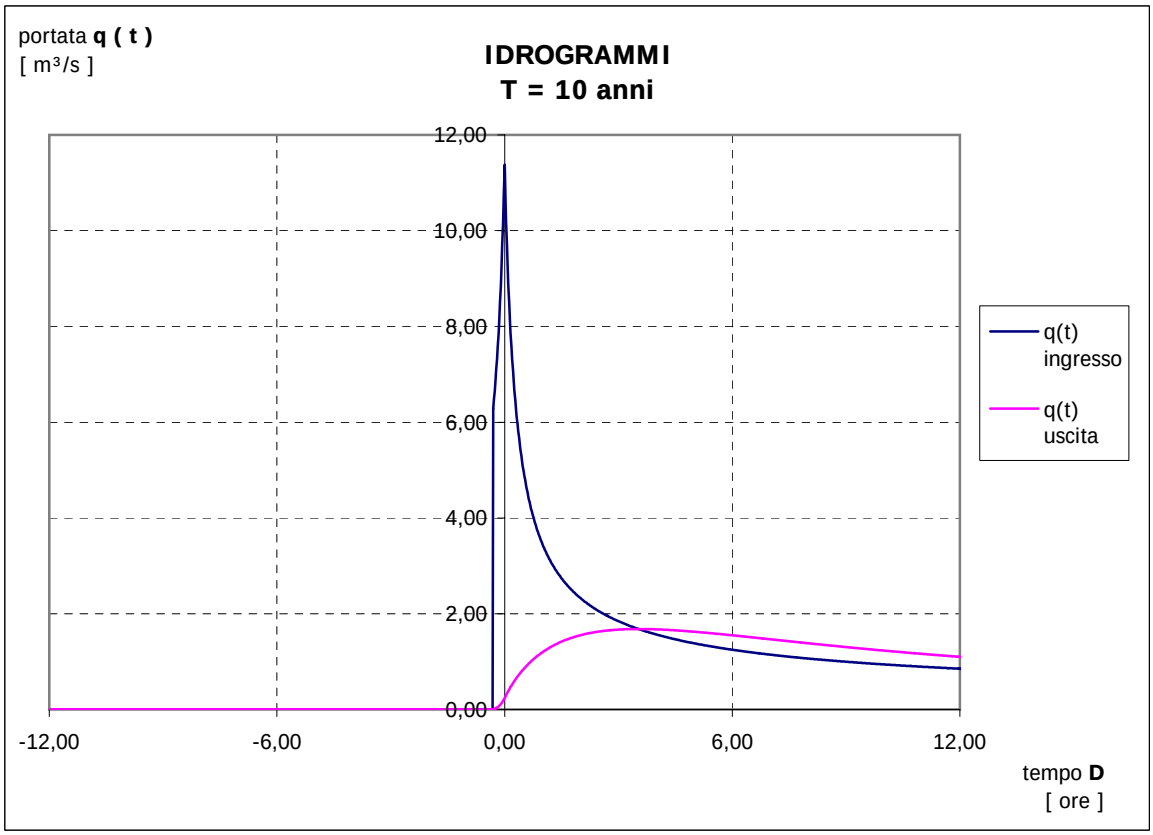
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

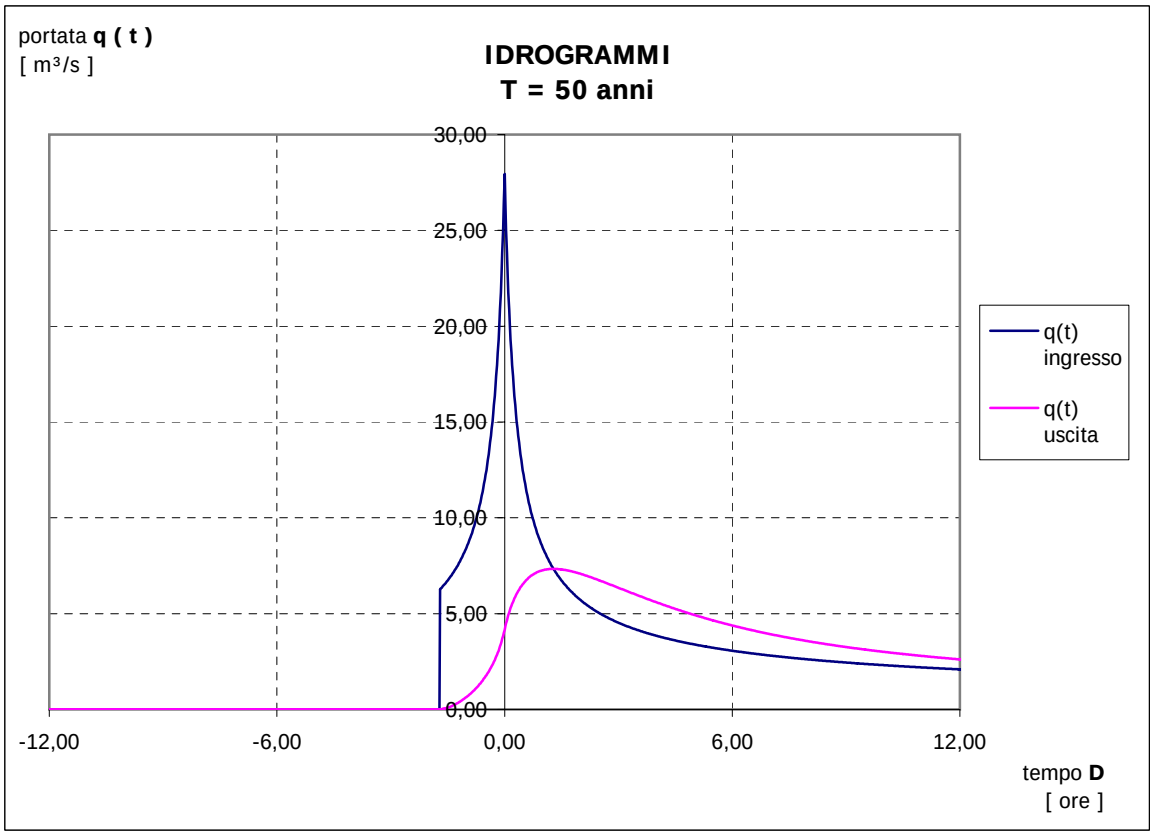
portata al colmo Q_T = **56,53** m^3 / s

fattore di crescita K_T = 9,04

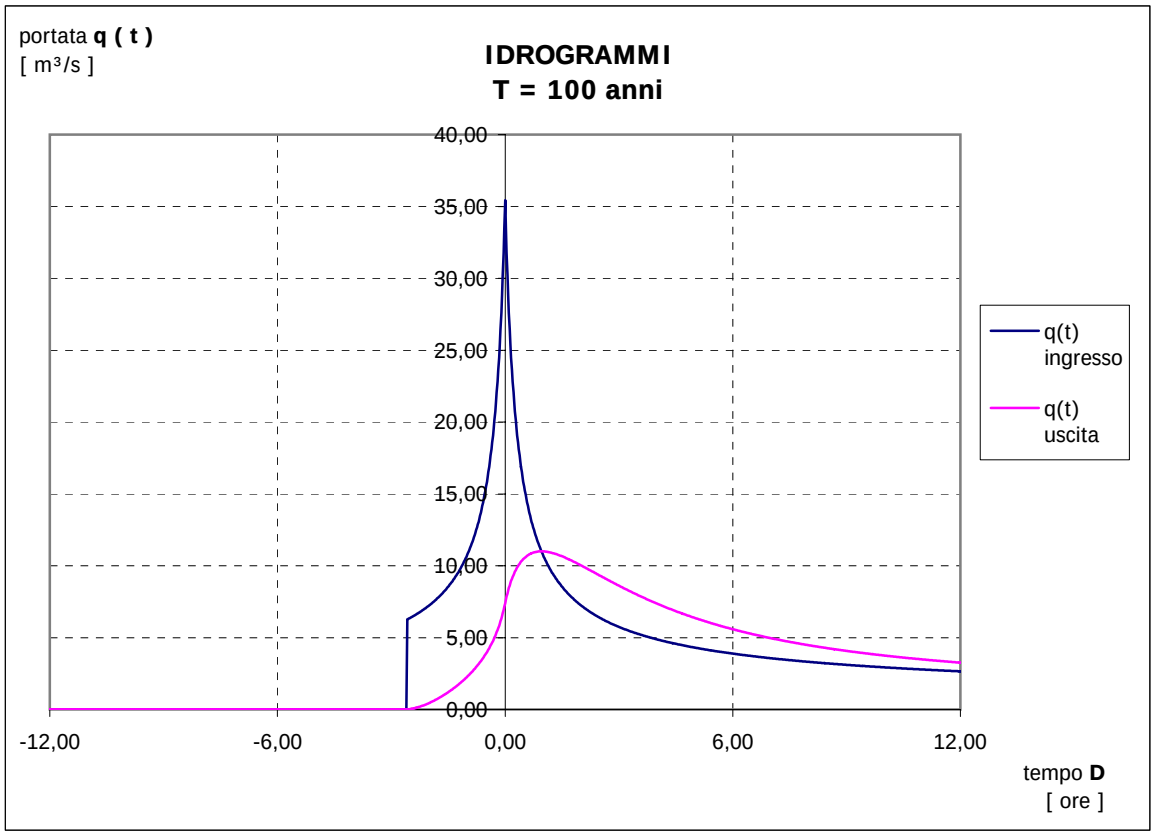
tempo di ritorno stimato **T** = 755,2 anni

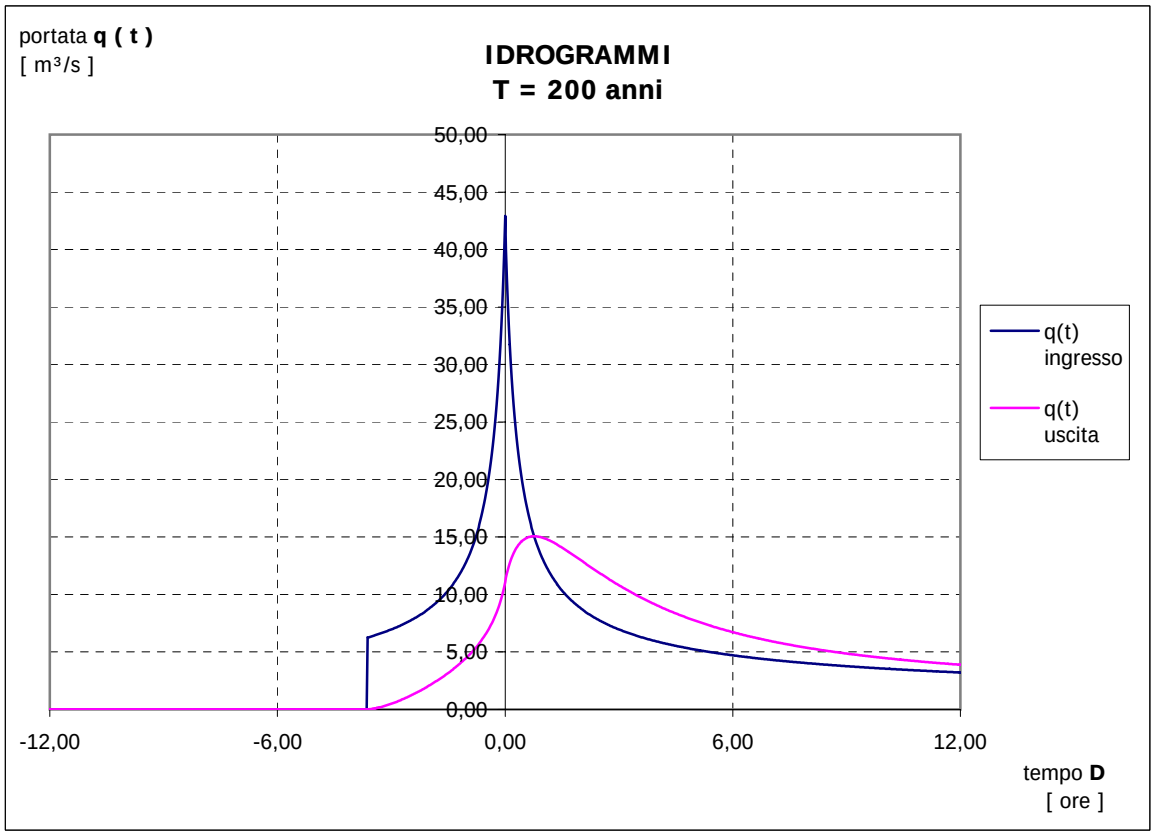
DIGA DI OBERSEE



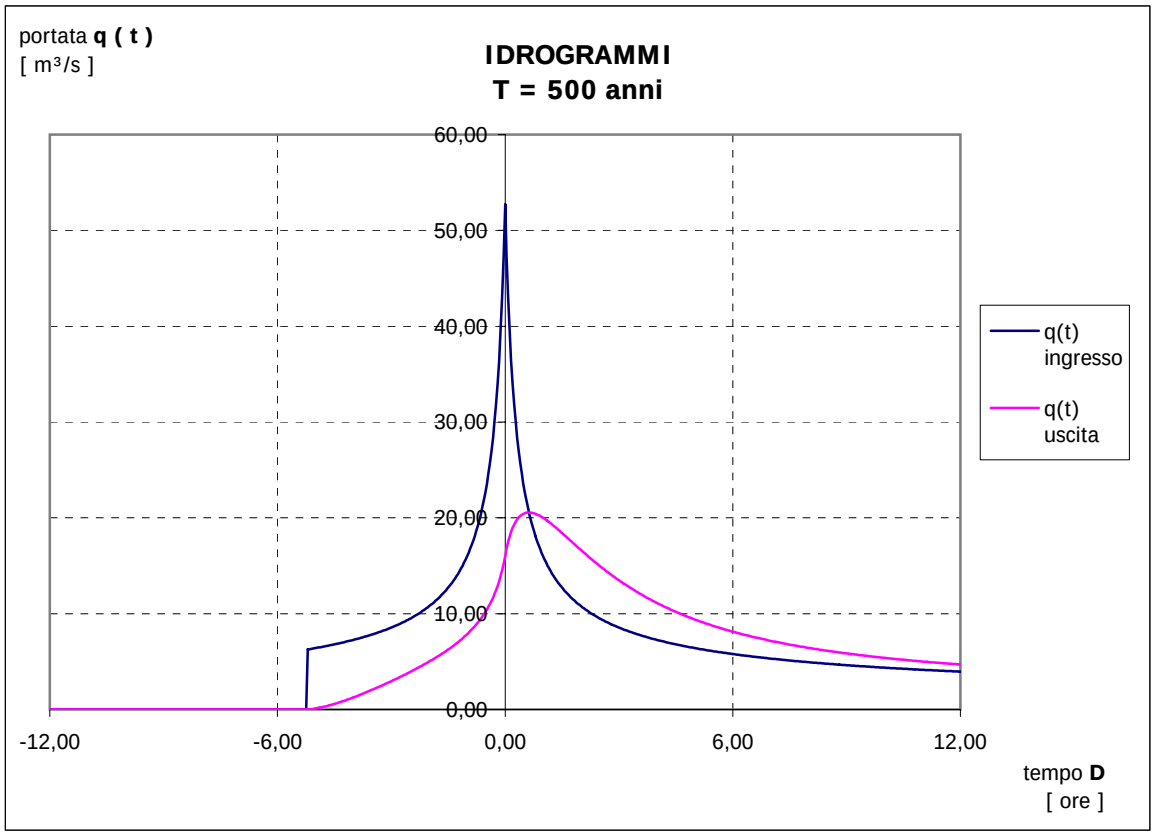


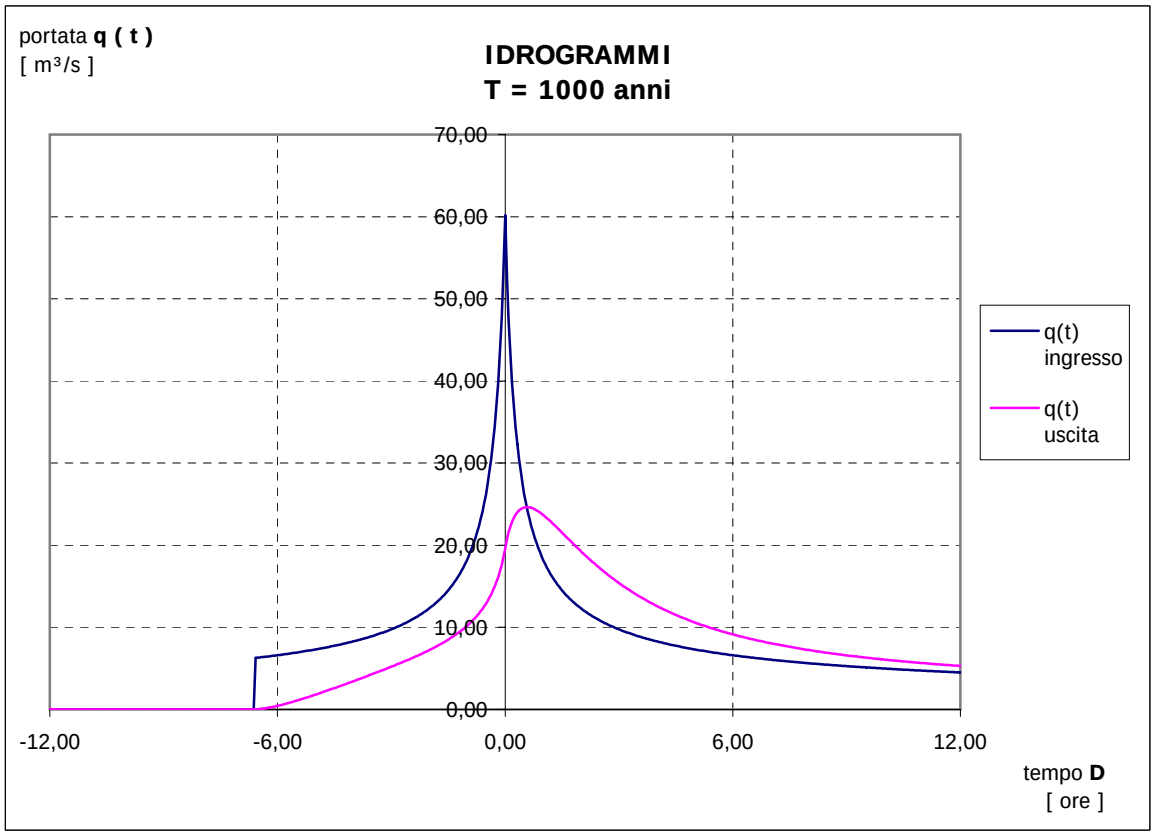
DIGA DI OBERSEE



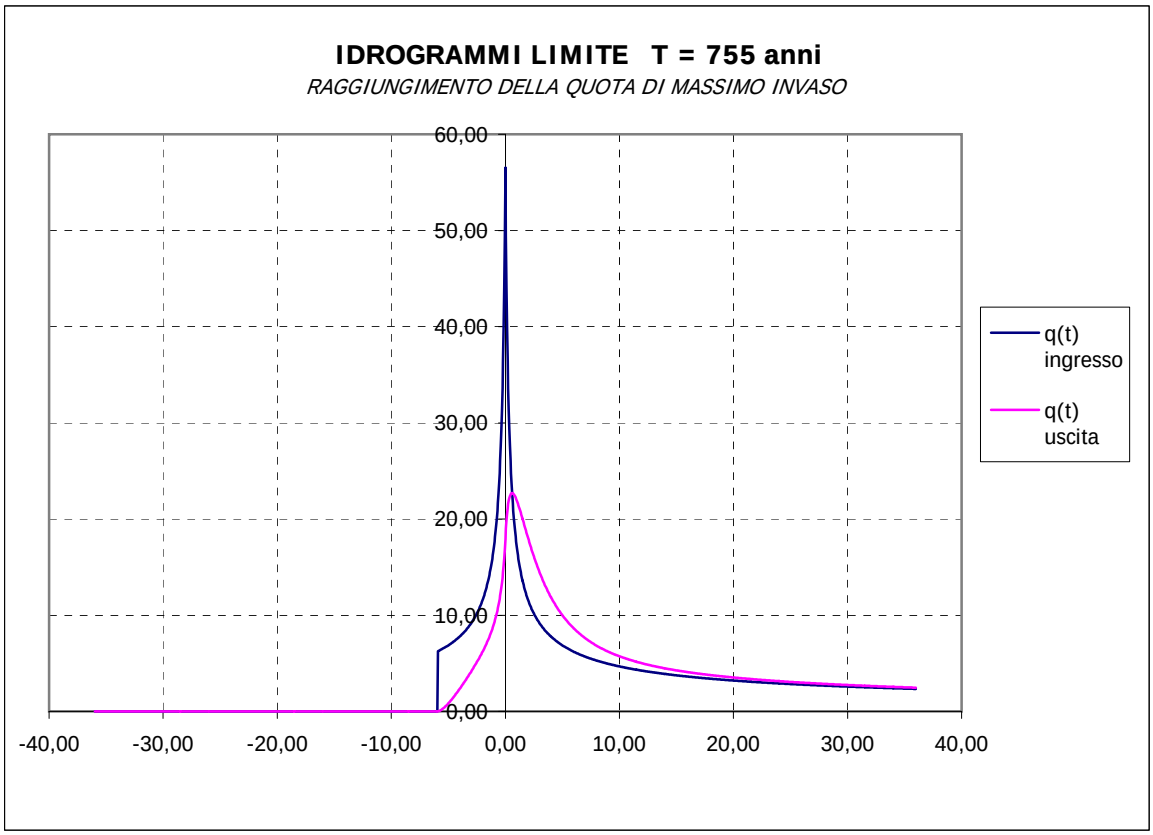


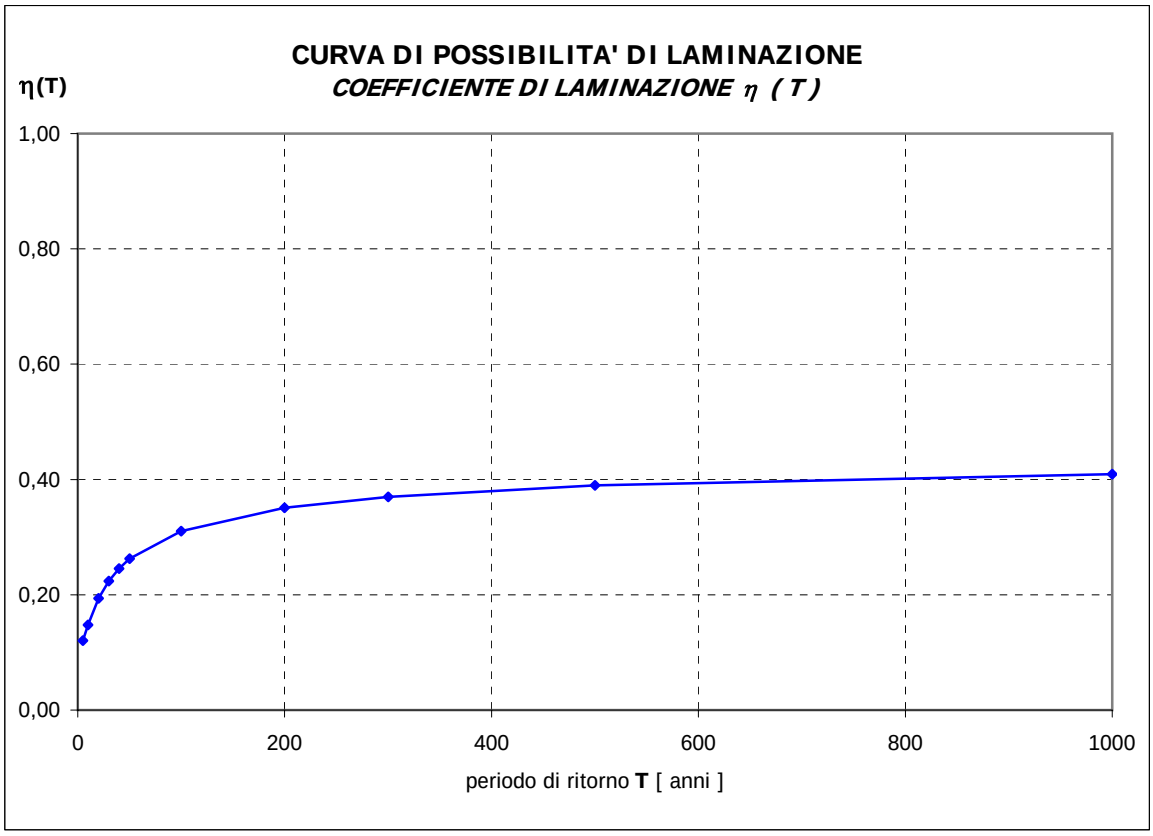
DIGA DI OBERSEE

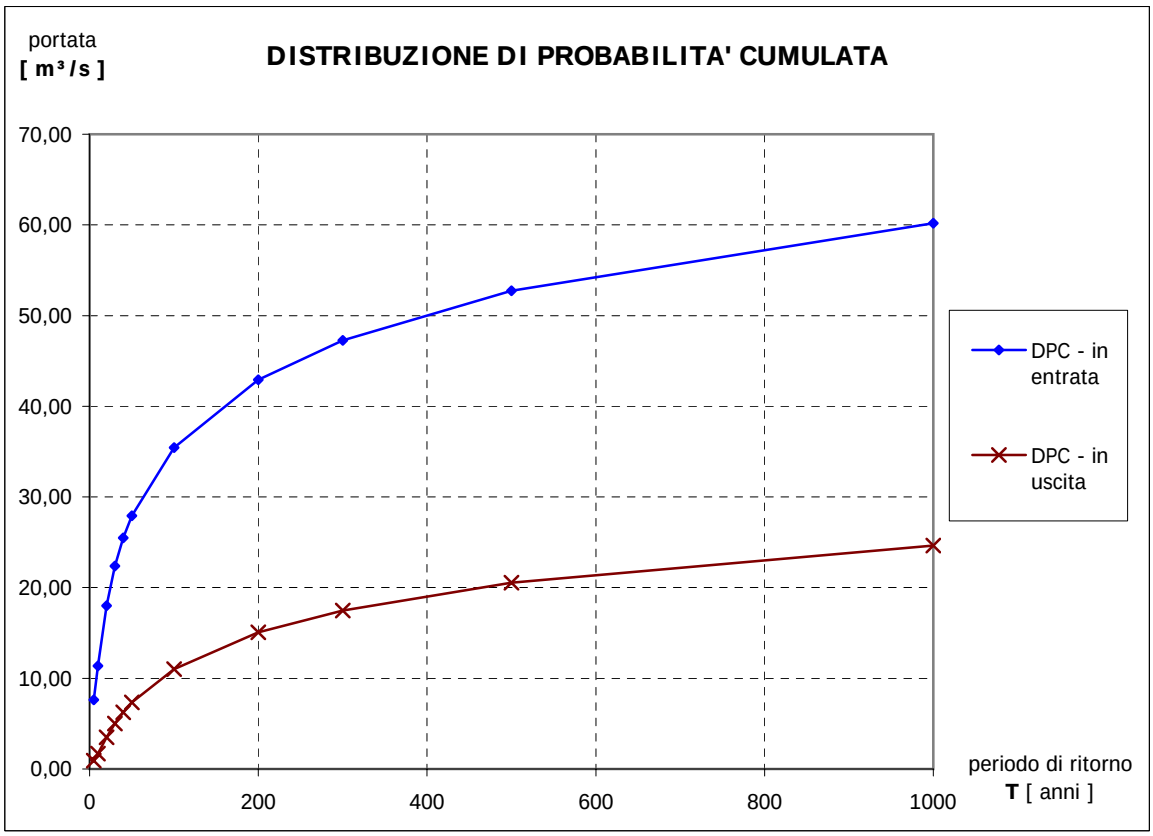




DIGA DI **OBERSEE**




CURVA DI POSSIBILITA' DI LAMINAZIONE
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE η (T)
η(T)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]


portata
[m³/s]
DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' CUMULATA
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
0
200
400
600
800
1000
DPC - in entrata
DPC - in uscita
periodo di ritorno
T [anni]

DIGA DI QUARAZZA

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 35,26 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,28	45,13	42,00	0,931	0,79	94,5	24,7	0,261	0,349
10	1,82	64,17	61,48	0,958	1,00	361,9	31,8	0,088	0,443
20	2,67	94,13	90,70	0,964	1,27	1010,8	41,3	0,041	0,563
30	3,27	115,29	111,39	0,966	1,44	1644,1	47,5	0,029	0,640
40	3,71	130,80	126,57	0,968	1,56	2205,1	51,9	0,024	0,692
50	4,06	143,14	138,65	0,969	1,65	2711,8	55,3	0,020	0,732
100	5,13	180,86	175,60	0,971	1,91	4605,2	65,4	0,014	0,848
200	6,19	218,23	212,73	0,975	2,15	7015,8	75,0	0,011	0,955
300	6,81	240,09	234,94	0,979	2,29	8682,6	80,6	0,009	1,016
500	7,60	267,95	264,03	0,985	2,46	11089,8	87,8	0,008	1,092
1000	8,66	305,32	303,30	0,993	2,68	14831,5	97,3	0,007	1,190
272	*6,63*	*233,80*	*229,15*	*0,980*	*2,25*	*8182,6*	*79,2*	*0,010*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,55 #

area totale del bacino **A** = 25,81 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,76 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 1,002 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,499 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,45 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 1320,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 1336,69 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 0,210 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 1,737E-05 Mm³

esponente **m1** = 3,334 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 1334,44 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 0,13 Mm³

carico massimo sulla soglia: 2,25 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 61,902 m³/s

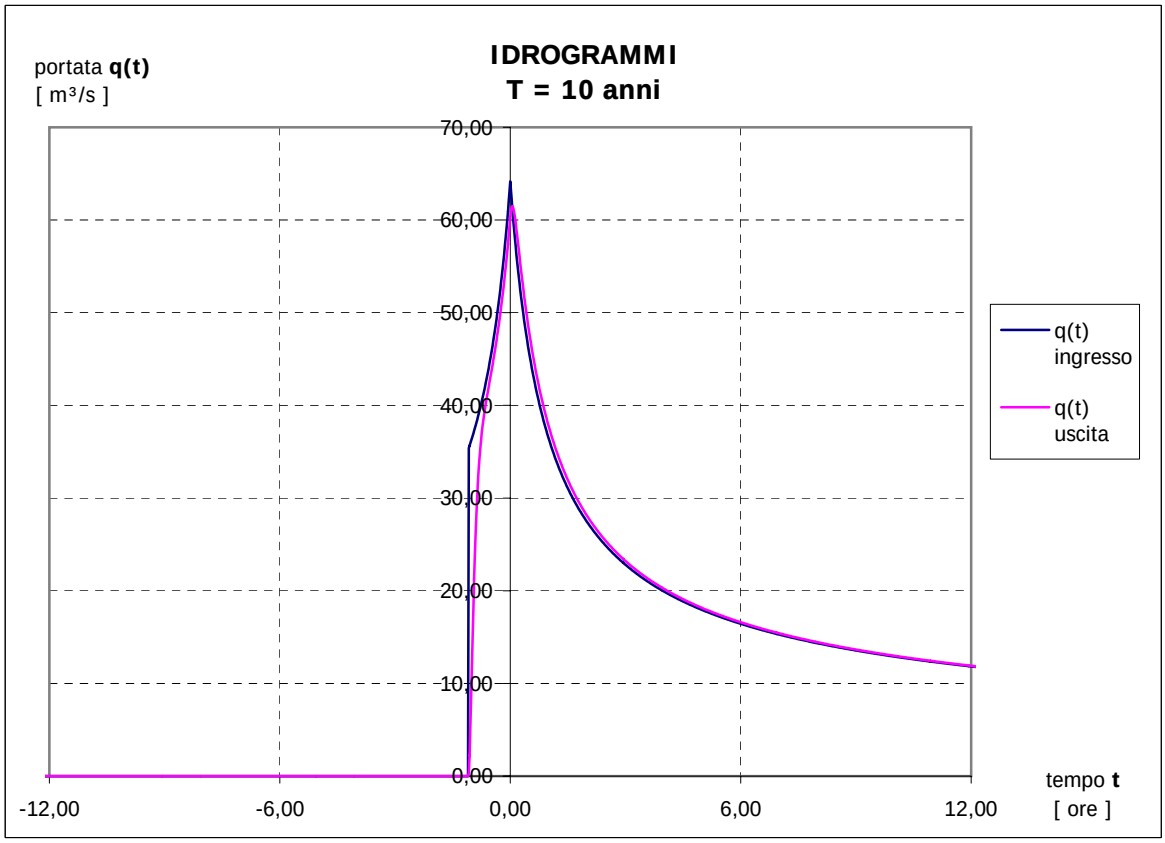
esponente **n1** = 1,614 #

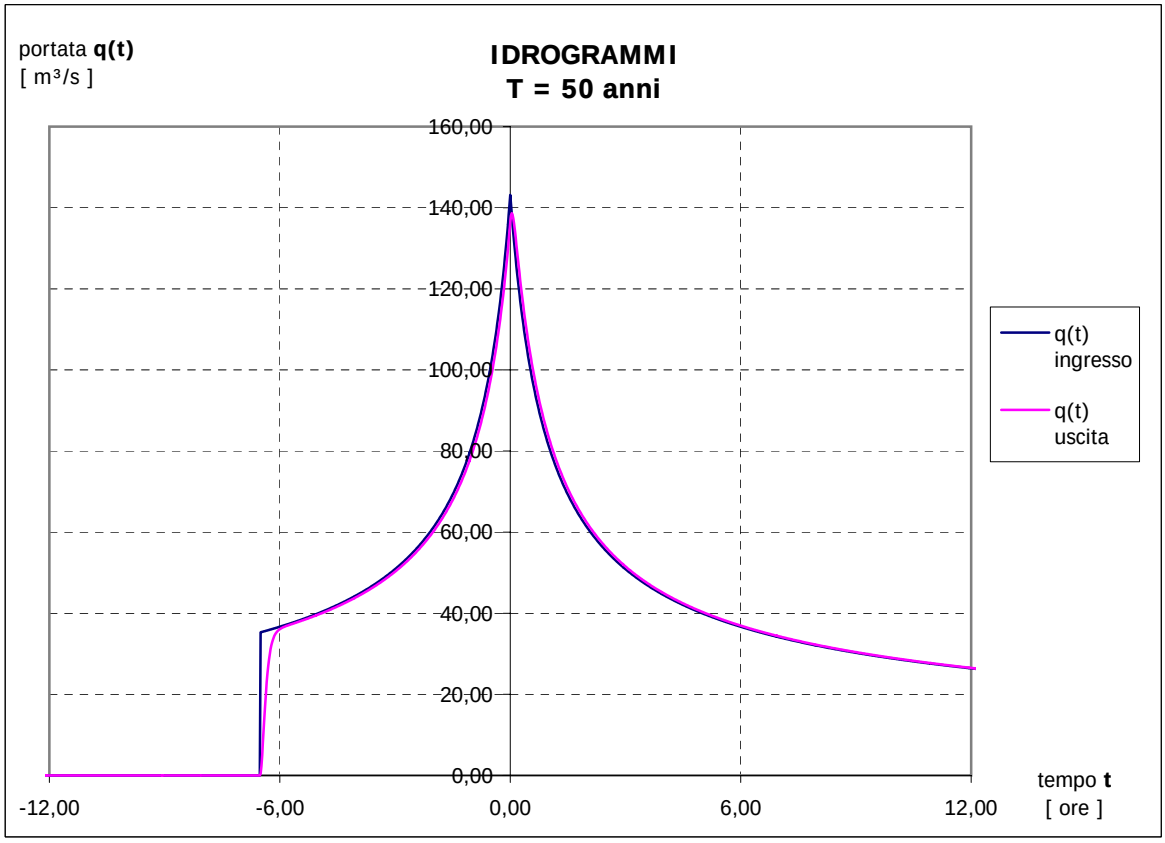
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

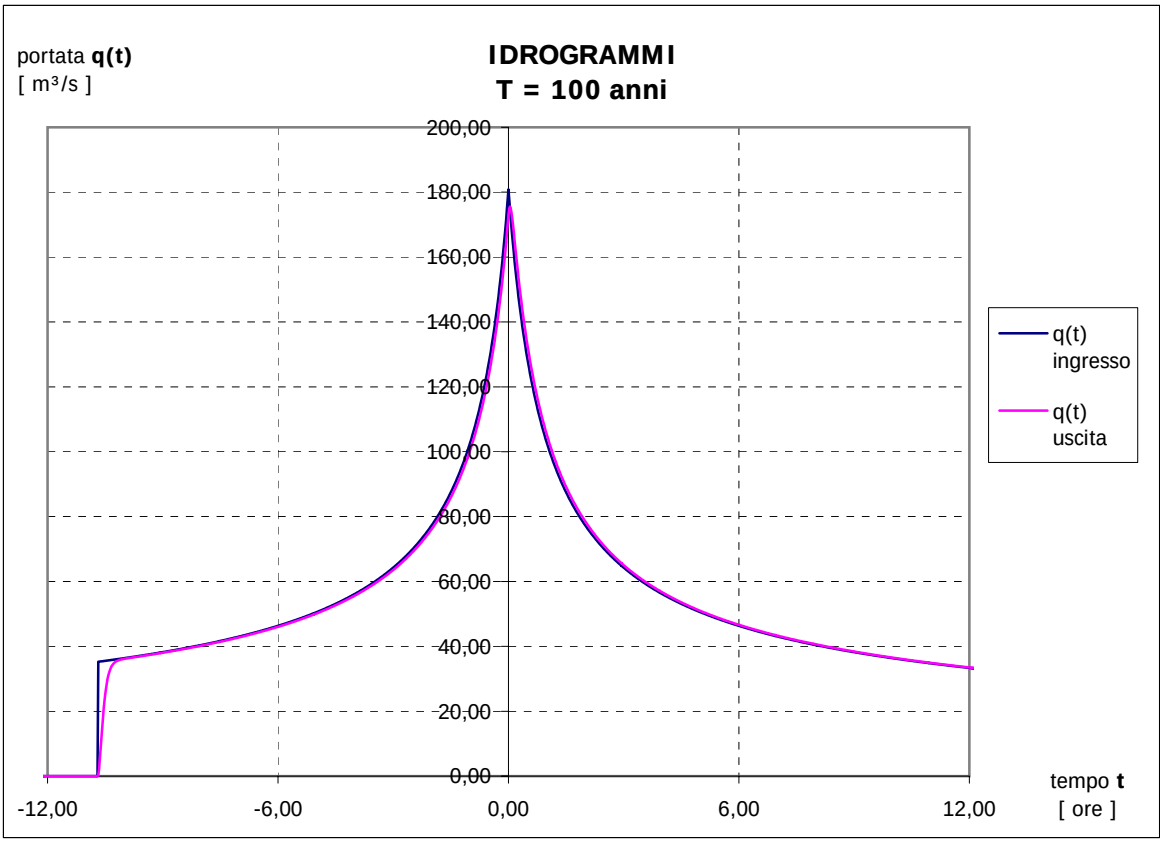
portata al colmo Q_T = **233,80** m³ / s

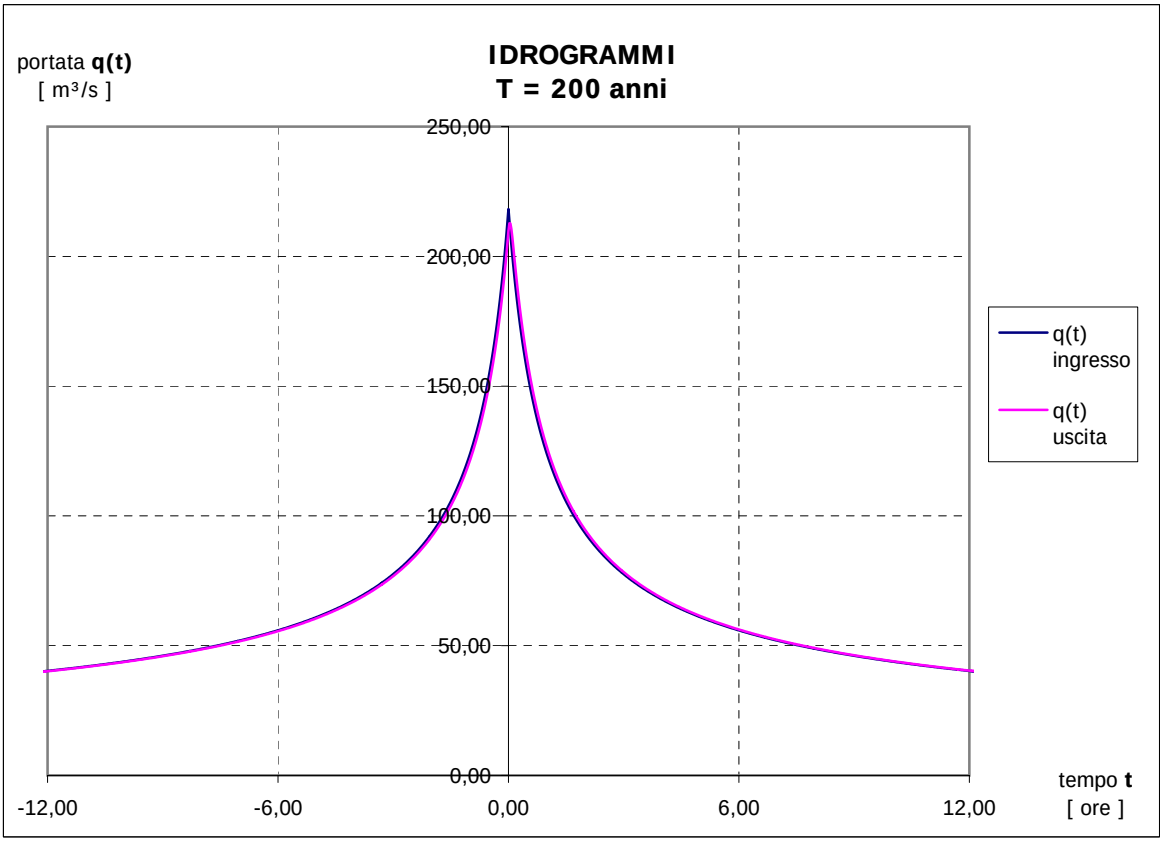
fattore di crescita K_T = **6,63**

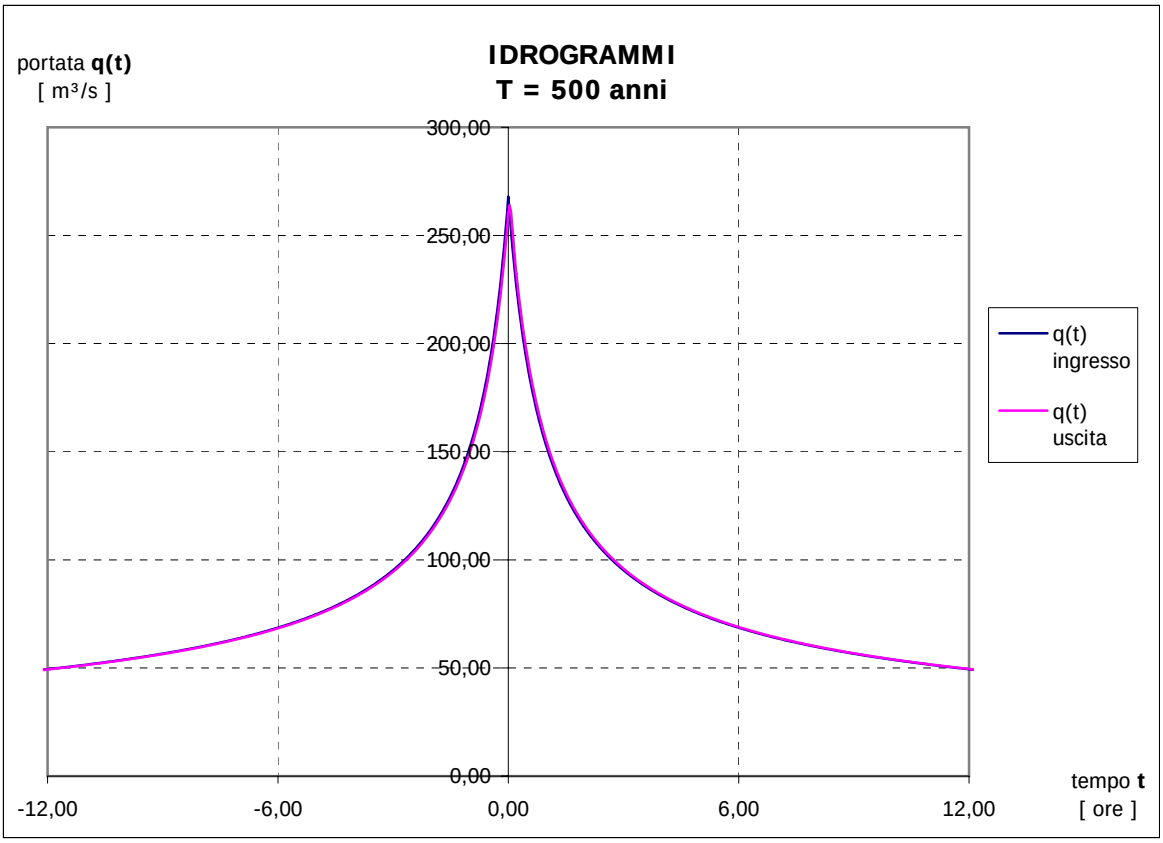
tempo di ritorno stimato **T** = **272** anni

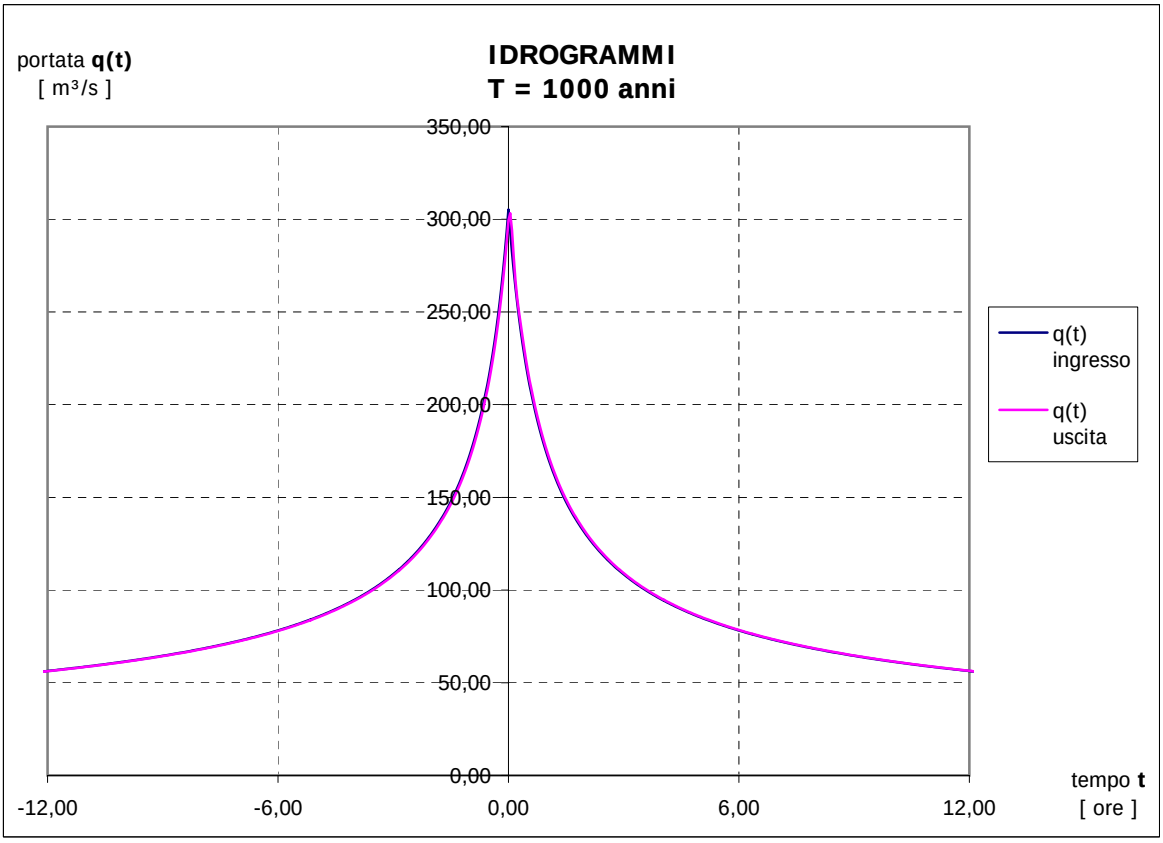

IDROGRAMMI
T = 10 anni
portata q(t)
[m³/s]
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


IDROGRAMMI
T = 50 anni
portata q(t)
[m³/s]
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

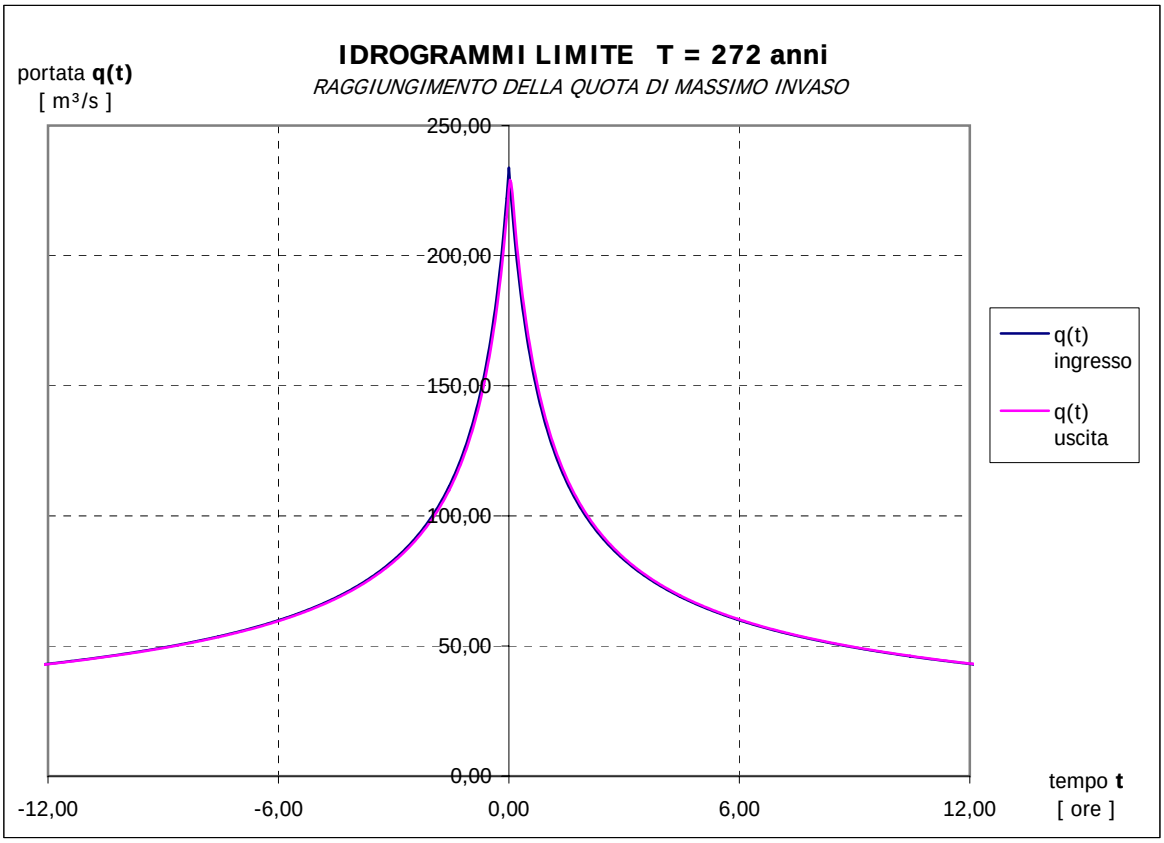

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 100 anni
200,00
180,00
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

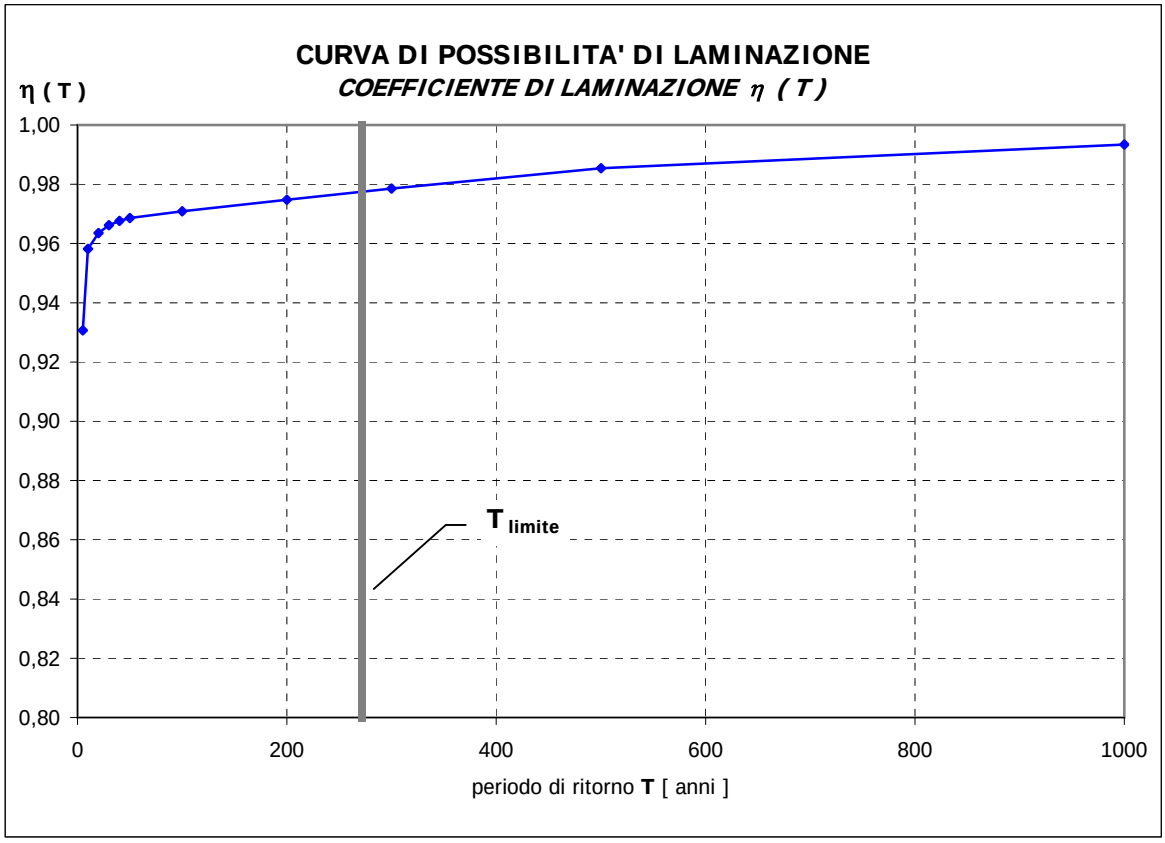

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 200 anni
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

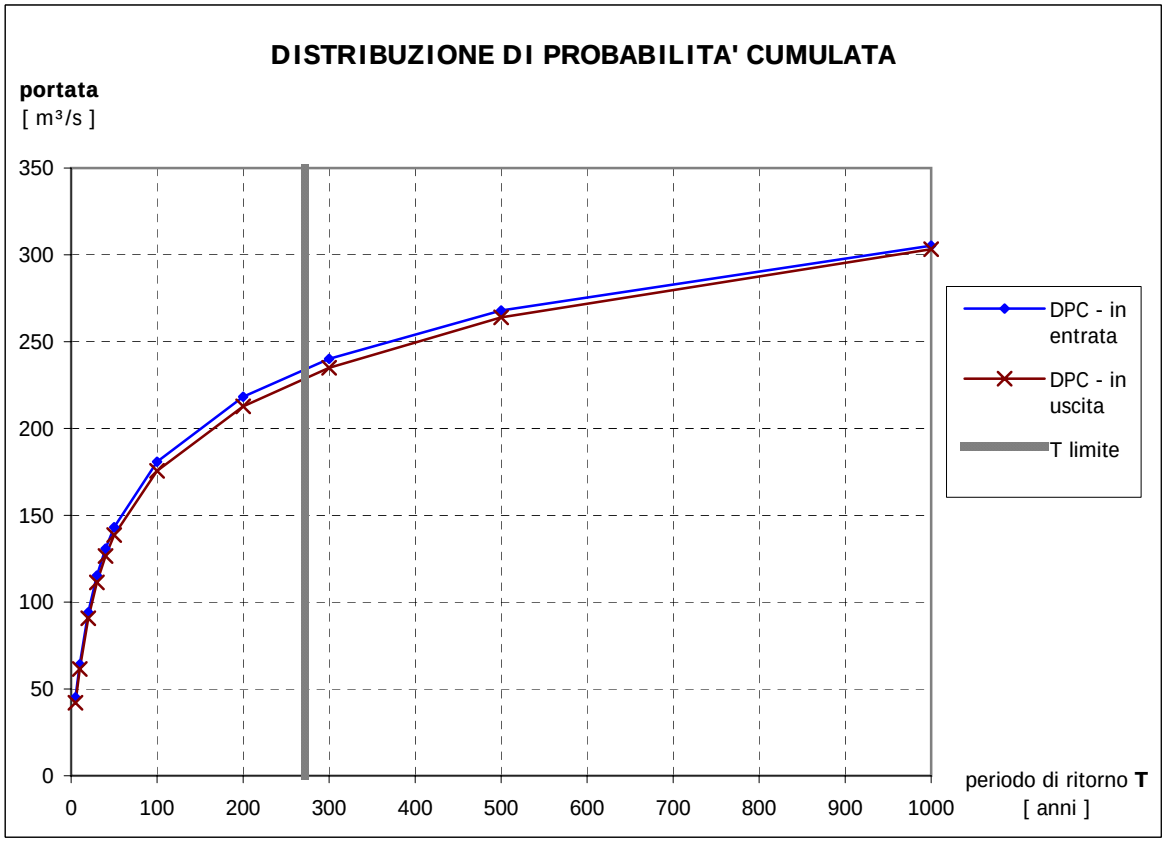

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 500 anni
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 1000 anni
350,00
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

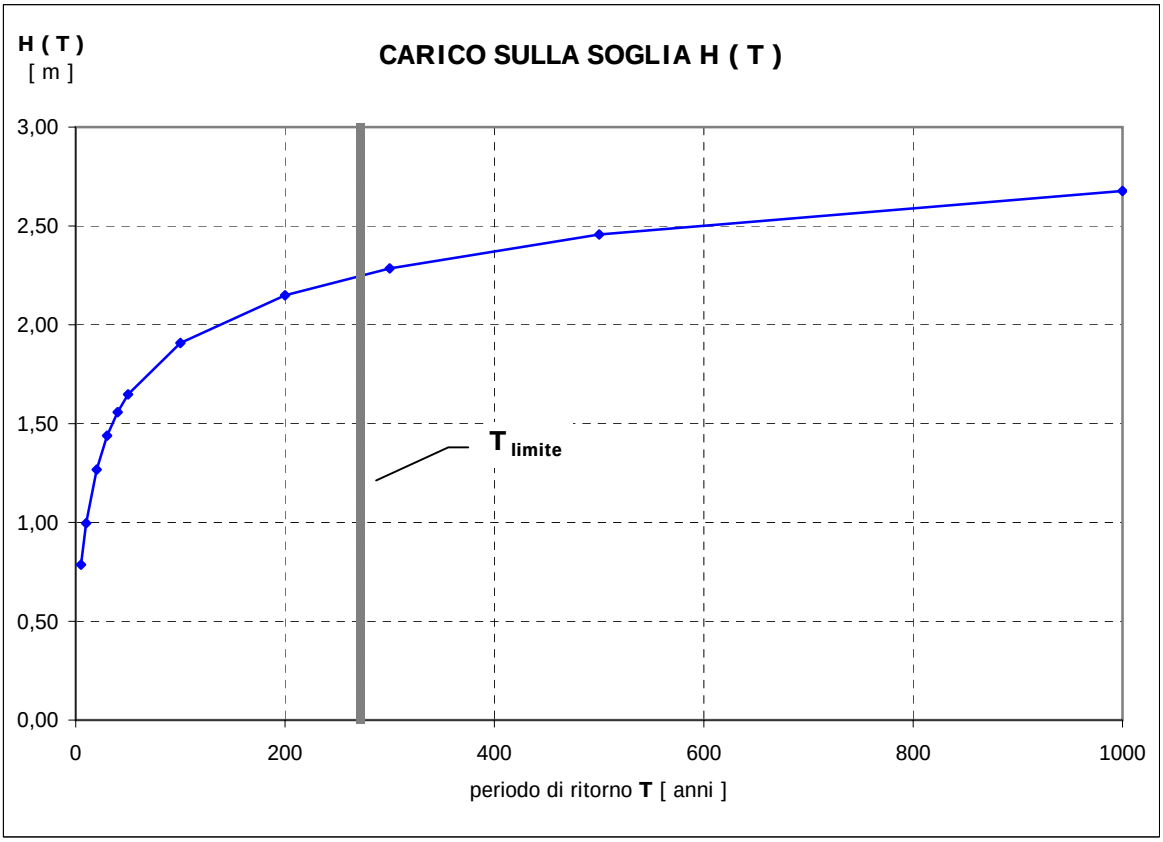
DIGA DI **QUARAZZA**

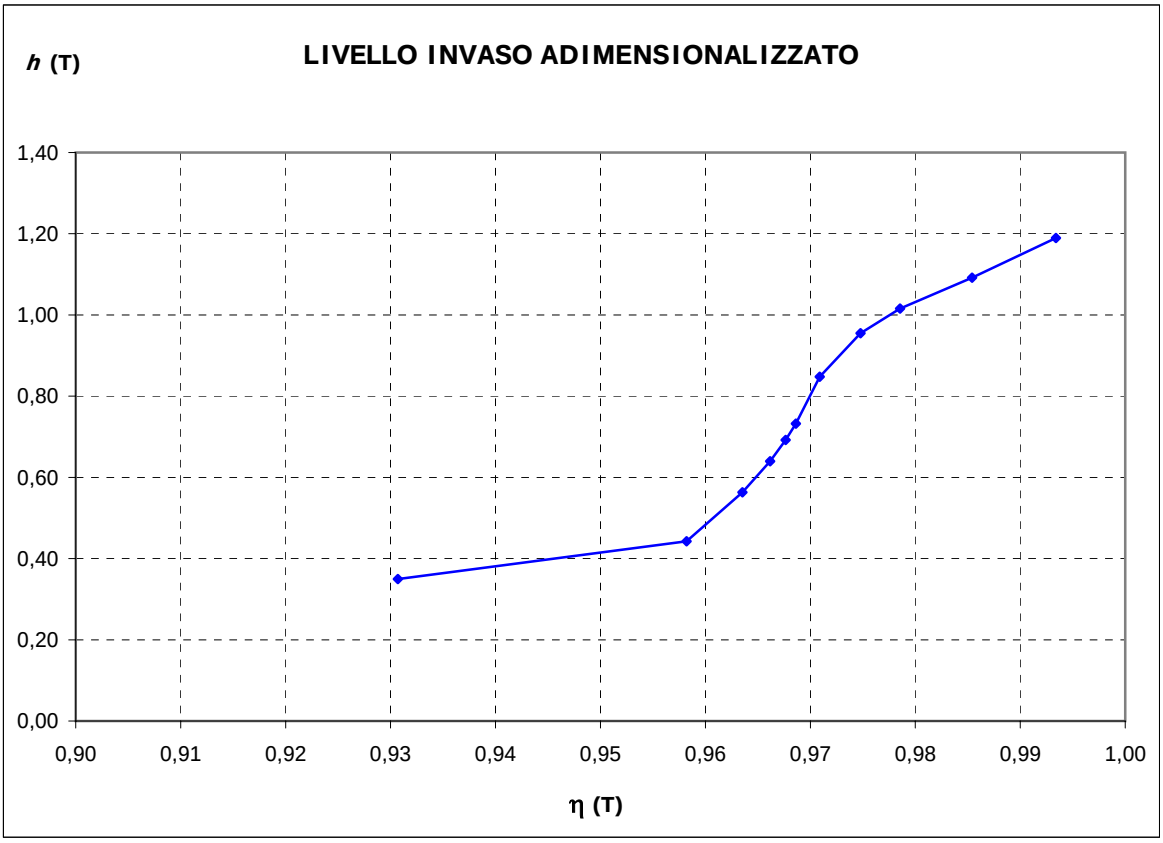


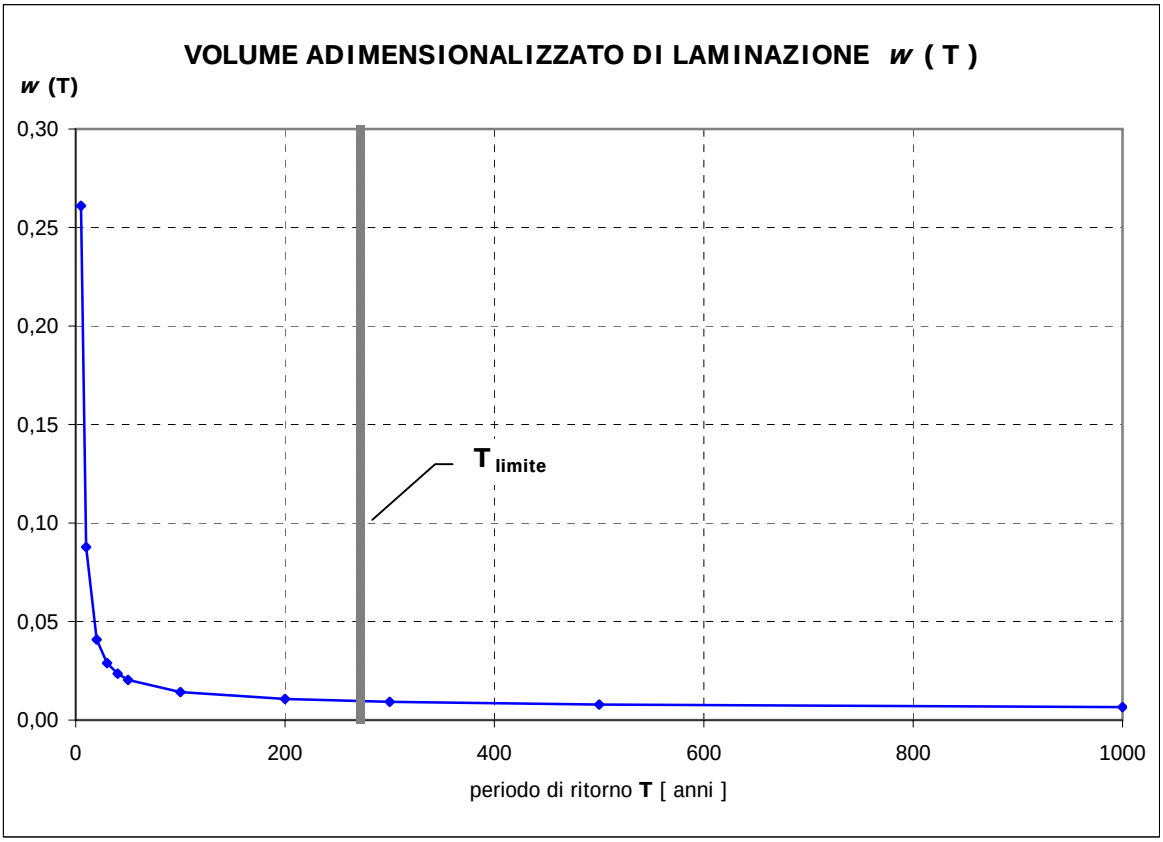

CURVA DI POSSIBILITA' DI LAMINAZIONE
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE η (T)
η (T)
1,00
0,98
0,96
0,94
0,92
0,90
0,88
0,86
0,84
0,82
0,80
0
200
400
600
800
1000
T limite
periodo di ritorno T [anni]

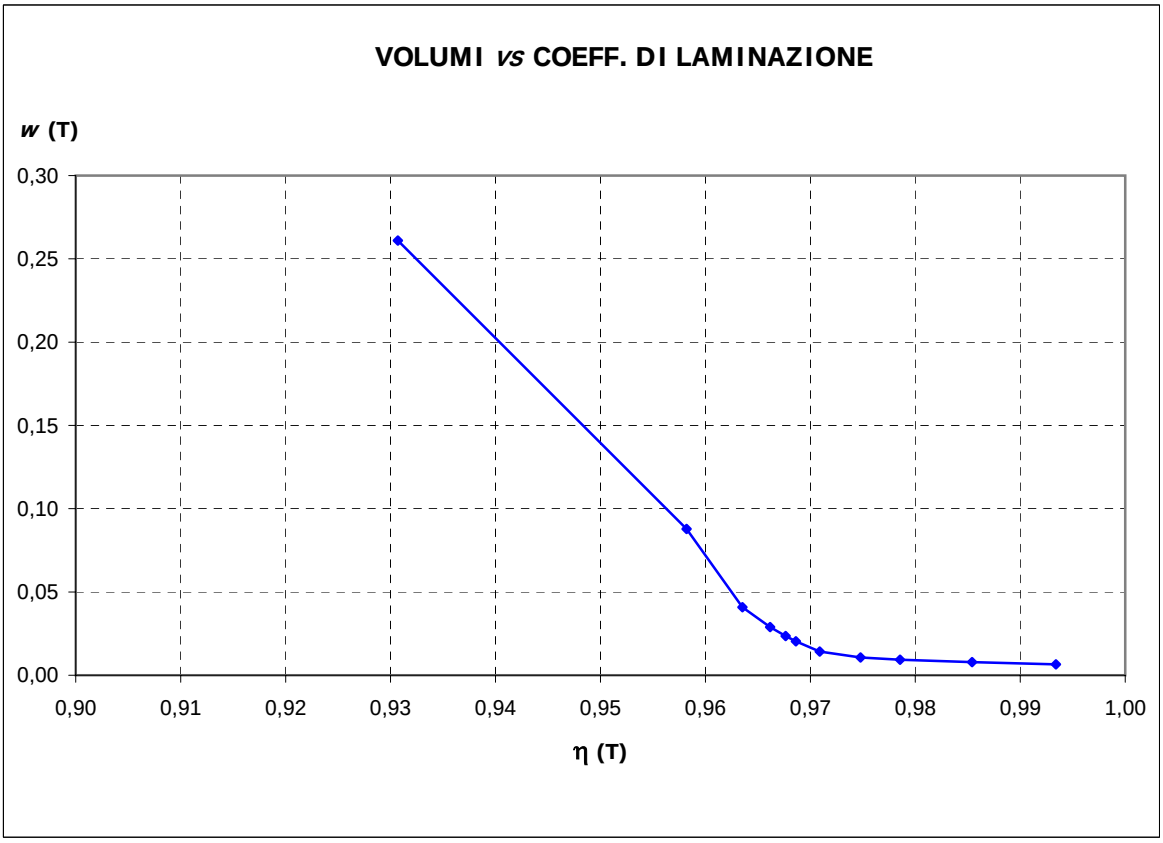

DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' CUMULATA
portata
[m³/s]
350
300
250
200
150
100
50
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
DPC - in entrata
DPC - in uscita
T limite
periodo di ritorno T
[anni]

DIGA DI QUARAZZA






VOLUME ADIMENSIONALIZZATO DI LAMINAZIONE w (T)
w (T)
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
0
200
400
600
800
1000
T limite
periodo di ritorno T [anni]


VOLUMI vs COEFF. DI LAMINAZIONE
w (T)
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
0,90
0,91
0,92
0,93
0,94
0,95
0,96
0,97
0,98
0,99
1,00
η (T)

DIGA DI SABBIONE

LAMINAZIONE 1° SC. SUPERFICIE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 22,93 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,13	25,91	1,75	0,068	0,20	17,4	255,0	14,638	0,330
10	1,99	45,63	3,93	0,086	0,34	184,5	436,4	2,366	0,565
20	3,58	82,09	9,57	0,117	0,61	691,1	789,7	1,143	1,020
30	4,54	104,10	14,06	0,135	0,79	1108,1	1021,3	0,922	1,318
40	5,22	119,69	17,76	0,148	0,92	1451,5	1193,7	0,822	1,539
50	5,75	131,85	20,94	0,159	1,03	1746,3	1332,5	0,763	1,717
100	7,37	168,99	32,17	0,190	1,37	2791,5	1776,3	0,636	2,285
200	8,98	205,91	45,13	0,219	1,72	4040,3	2228,6	0,552	2,861
300	9,93	227,69	53,37	0,234	1,92	4873,2	2494,5	0,512	3,199
500	11,11	254,75	63,95	0,251	2,16	6005,5	2816,8	0,469	3,608
1000	12,73	291,90	78,62	0,269	2,48	7733,4	3236,9	0,419	4,139
18	*3,51*	*80,48*	*9,29*	*0,115*	*0,60*	*663,8*	*774,6*	*1,167*	*1,001*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,46 #

area totale del bacino **A** = 14,37 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,61 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,818 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,612 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,54 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 2405,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 2460,60 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 44,830 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 7,028E-02 Mm³

esponente **m1** = 1,607 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 2460,00 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 44,01 Mm³

carico massimo sulla soglia: 0,60 m

equazione adottata: $q_u = ci \cdot H^{ni}$

coefficiente **c1** = 20,019 m³/s

esponente **n1** = 1,504 #

PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

portata al colmo Q_T = **80,48** m³ / s

fattore di crescita K_T = **3,51**

tempo di ritorno stimato **T** = **18** anni

DIGA DI SABBIONE

LAMINAZIONE 1°SC. SUP. + 1°SC. ALLEGG.

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 22,93 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,13	25,91	0,85	0,033	0,370	17,4	469,0	26,921	0,176
10	1,99	45,63	1,81	0,040	0,616	184,5	781,3	4,235	0,293
20	3,58	82,09	4,02	0,049	1,060	691,1	1348,6	1,951	0,505
30	4,54	104,10	5,64	0,054	1,335	1108,1	1700,5	1,535	0,636
40	5,22	119,69	7,43	0,062	1,518	1451,5	1936,0	1,334	0,723
50	5,75	131,85	8,82	0,067	1,647	1746,3	2102,5	1,204	0,784
100	7,37	168,99	15,71	0,093	2,007	2791,5	2566,7	0,919	0,956
200	8,98	205,91	25,66	0,125	2,376	4040,3	3044,7	0,754	1,131
300	9,93	227,69	33,17	0,146	2,611	4873,2	3350,9	0,688	1,243
500	11,11	254,75	44,13	0,173	2,918	6005,5	3751,2	0,625	1,390
1000	12,73	291,90	61,48	0,211	3,349	7733,4	4315,2	0,558	1,595
118	*7,77*	*178,23*	*17,98*	*0,101*	*2,100*	*3084,3*	*2687,2*	*0,871*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,46 #

area totale del bacino **A** = 14,37 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,61 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,818 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,612 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,54 #

DIGA DI SABBIONE

LAMINAZIONE 1°SC. SUP. + 1°SC. ALLEGG.

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso:	2405,00 m s.l.m.
quota di massimo invaso:	2460,60 m s.l.m.
volume totale di invaso alla quota di massimo invaso:	44,830 Mm^3
equazione adottata: **V =**	$v1 \cdot H^{m1}$
coefficiente **v1 =**	7,028E-02 Mm^3
esponente **m1 =**	1,607 #

SCALA DI EFFLUSSO

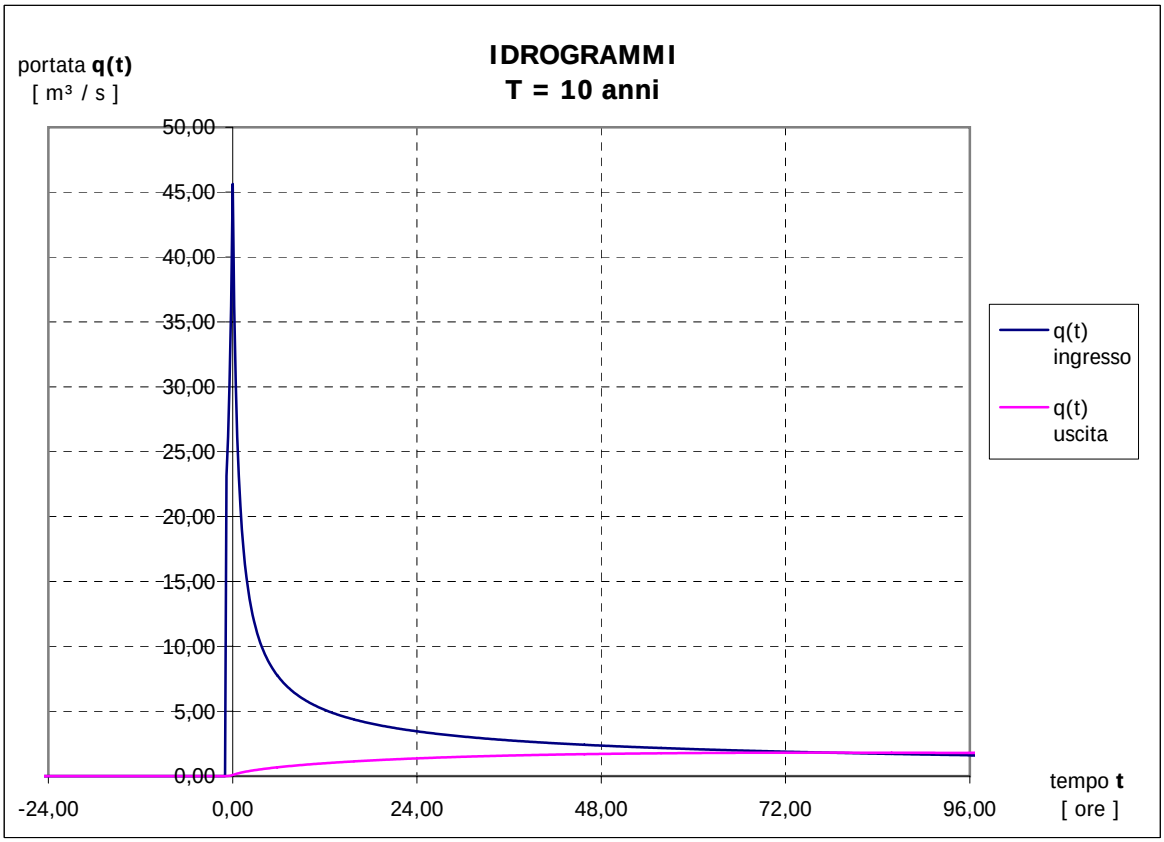
quota soglia 1° scarico di alleggerimento:	2458,50 m s.l.m.
volume totale di invaso alla quota soglia 1° scarico di all.:	42,10 Mm^3
carico massimo sulla soglia:	2,10 m
quota soglia 1° scarico di superficie:	2460,00 m s.l.m.
volume totale di invaso alla quota soglia 1° scarico di sup.:	42,10 Mm^3
carico massimo sulla soglia:	0,60 m
equazione adottata: q_u =	$ci \cdot H^{ni}$
coefficiente **c1 1°sup.=**	20,019 m^3/s
esponente **n1 1°sup.=**	1,504 #
coefficiente **c2 1°all. funzionamento a stramazzo=**	3,691 m^3/s
esponente **n1 1°all. funzionamento a stramazzo=**	1,472 #
coefficiente **c2 1°all. funzionamento a battente=**	5,977 m^3/s
esponente **n1 1°all. funzionamento a battente=**	0,506 #
quota inizio funzionamento a battente =	2460,000 m s.l.m.

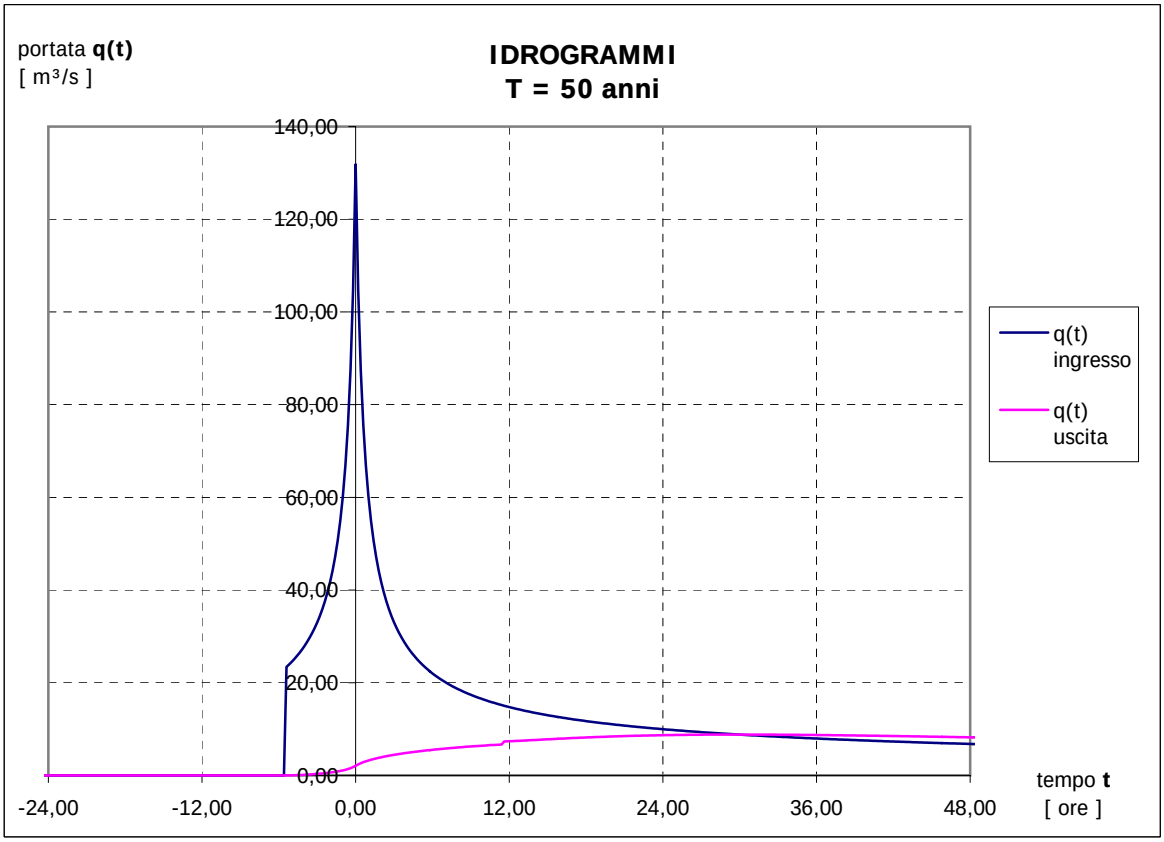
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

portata al colmo Q_T =	**178,23** m^3 / s
fattore di crescita K_T =	**7,77**
tempo di ritorno stimato **T =**	**117,82** anni

DIGA DI SABBIONE

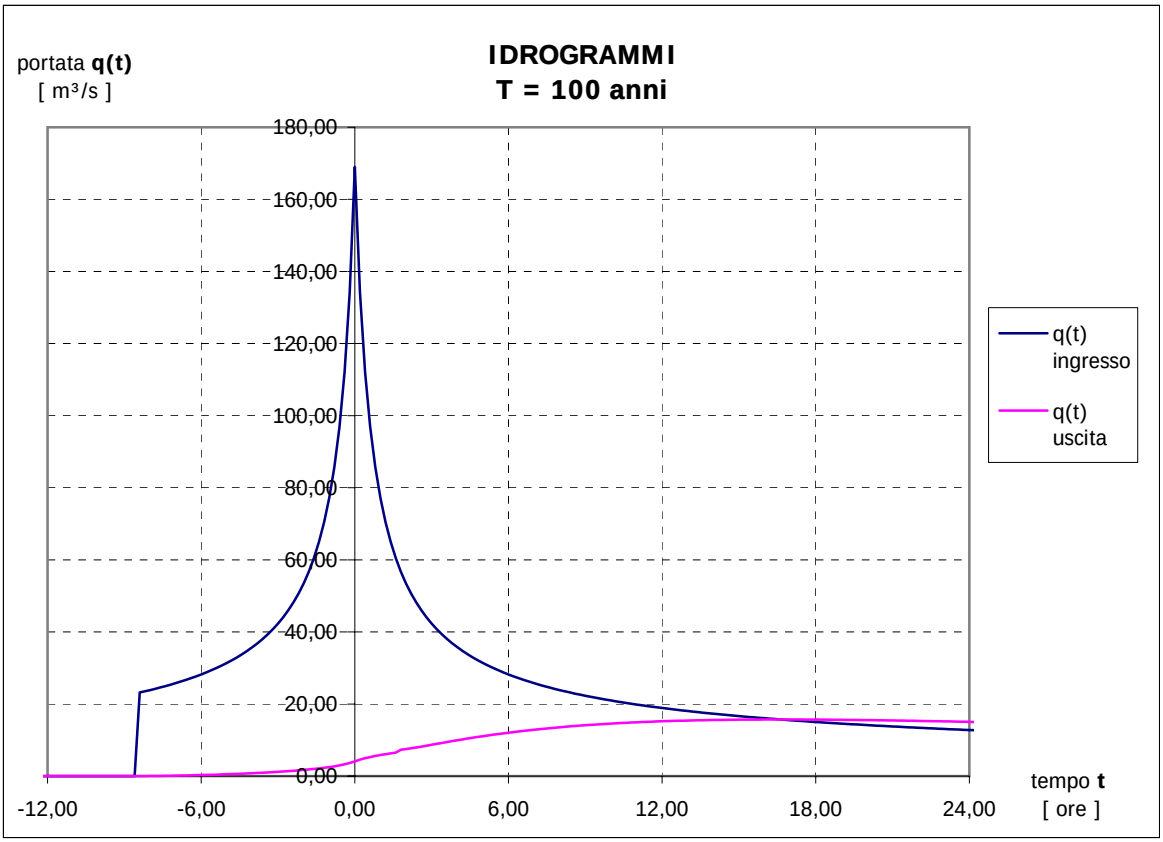
LAMINAZIONE - 1°SC. SUP. + 1° SC. ALLEGG.

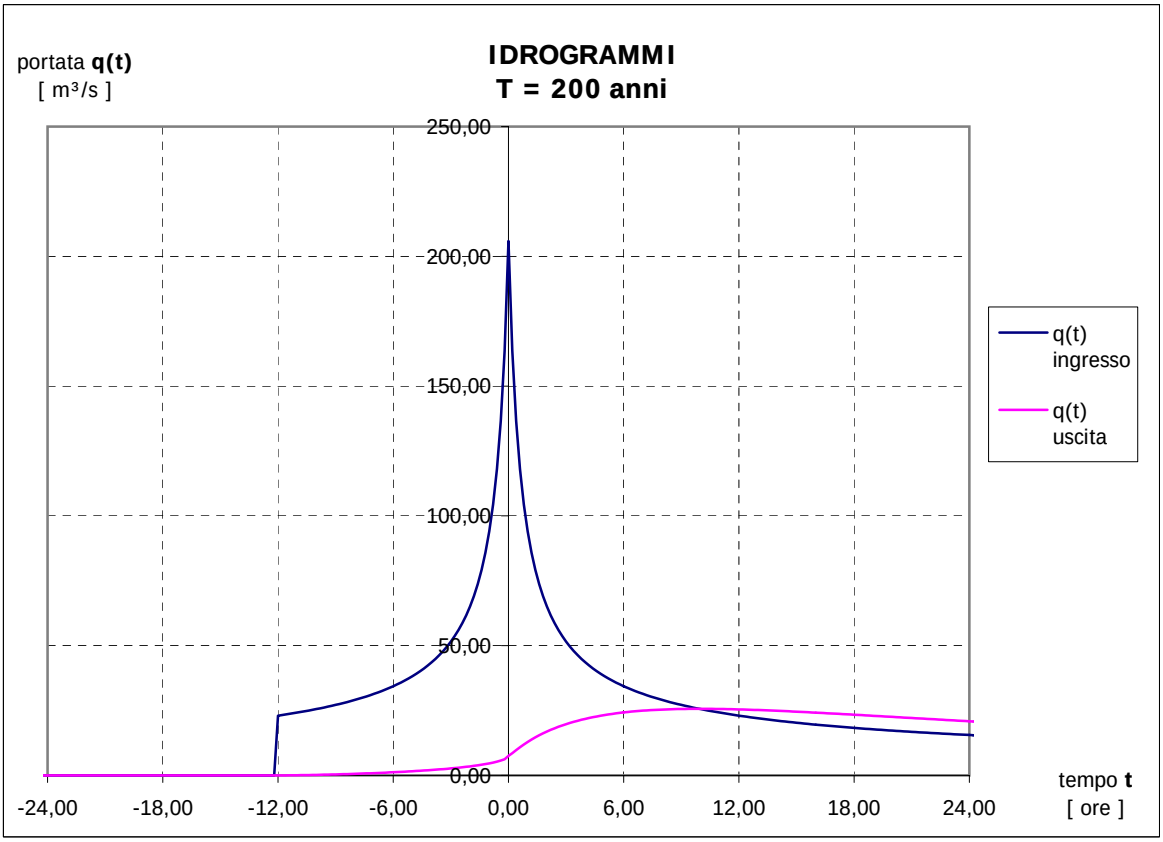




DIGA DI SABBIONE

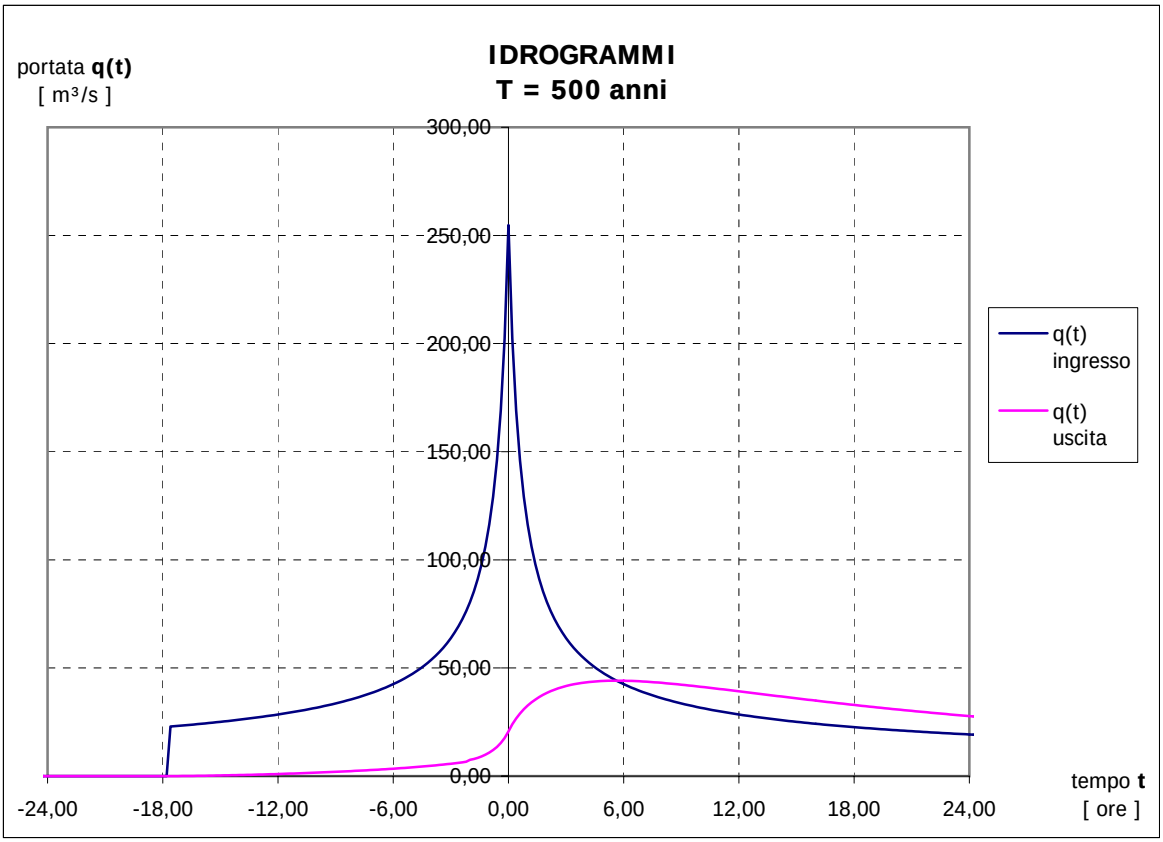
LAMINAZIONE - 1°SC. SUP. + 1° SC. ALLEGG.

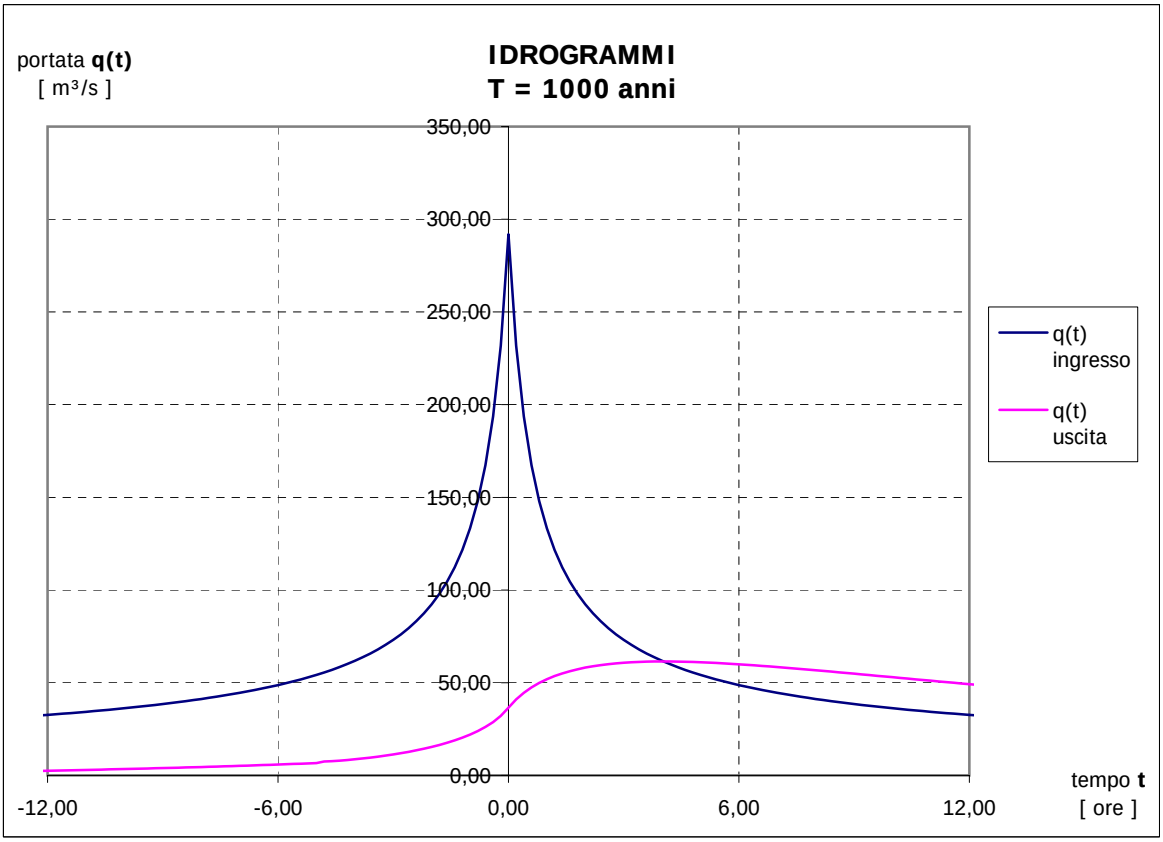




DIGA DI SABBIONE

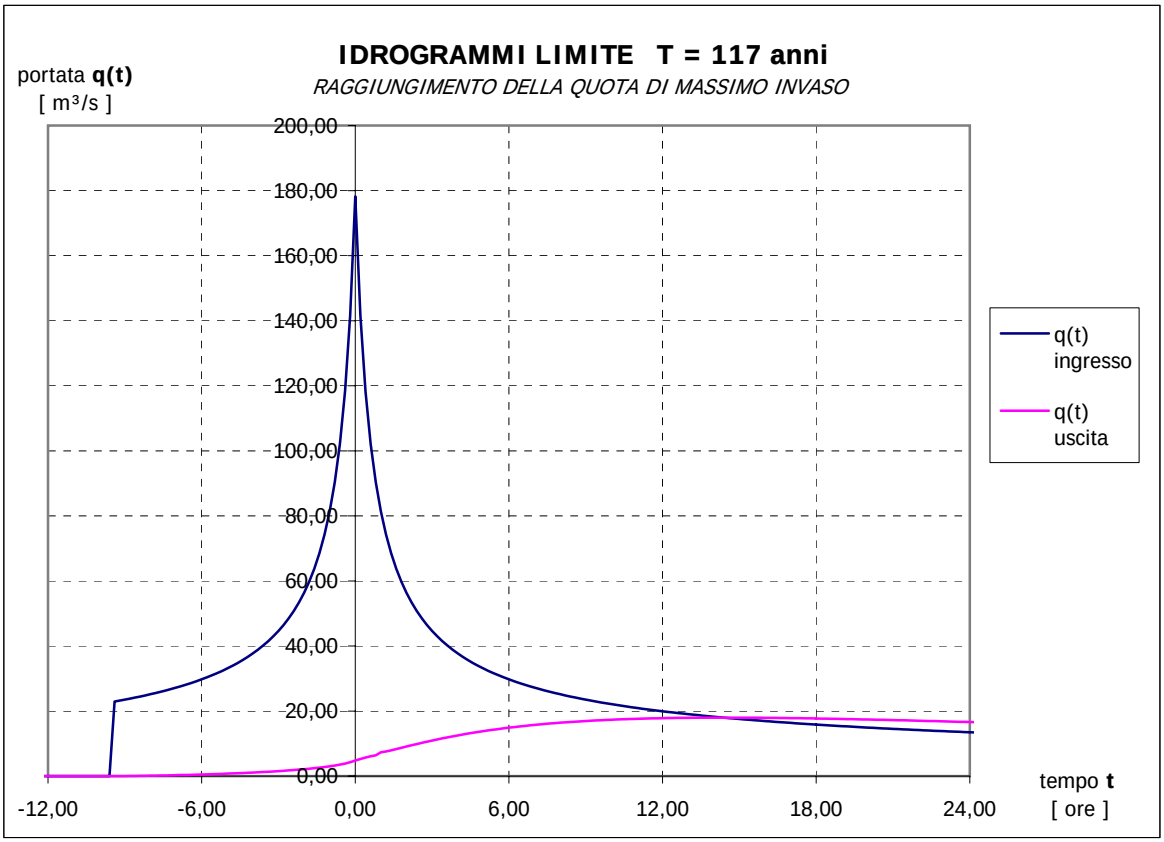
LAMINAZIONE - 1°SC. SUP. + 1° SC. ALLEGG.





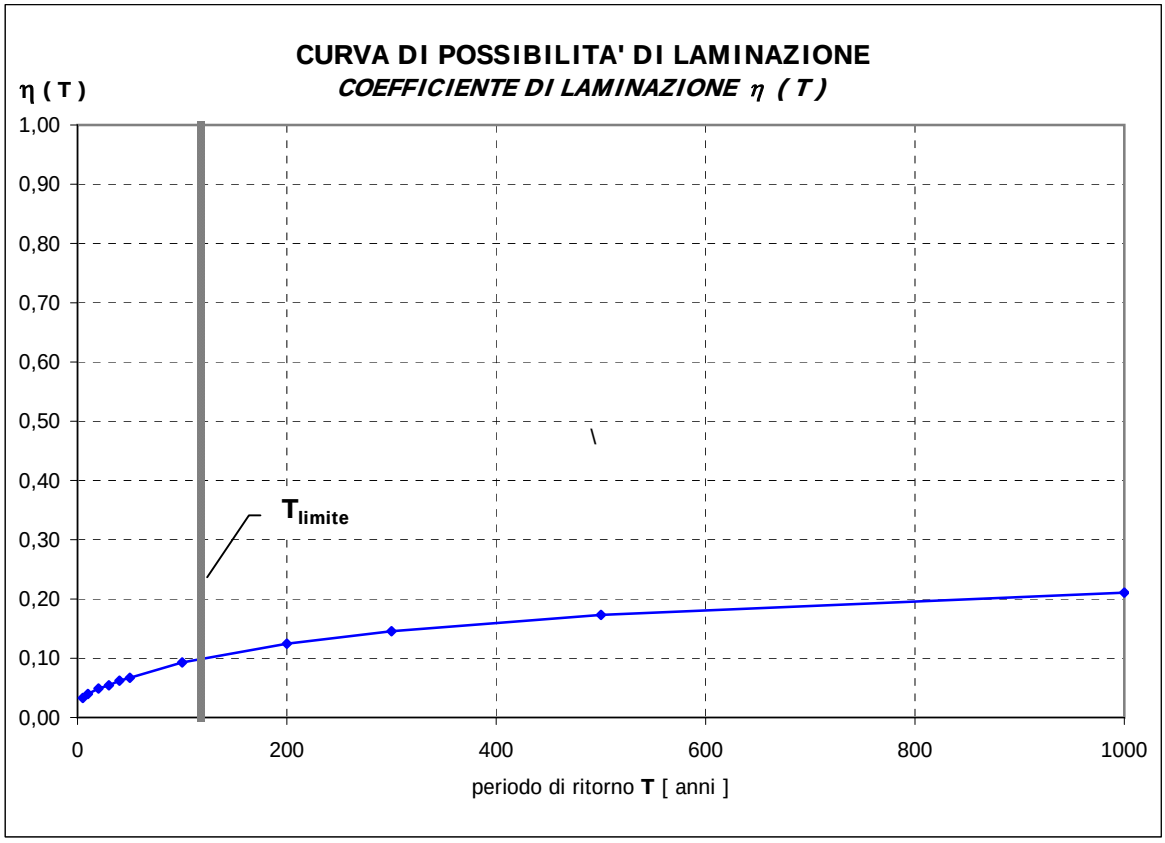
DIGA DI SABBIONE

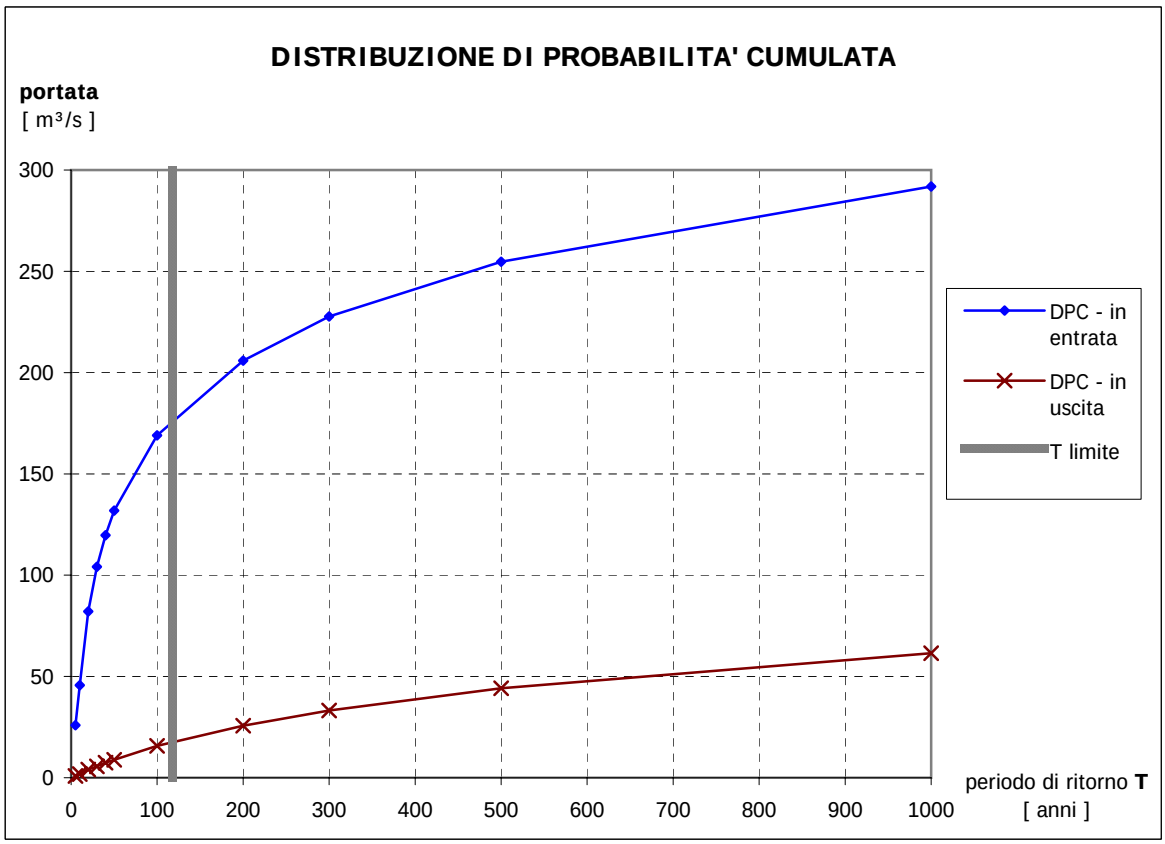
LAMINAZIONE - 1°SC. SUP. + 1° SC. ALLEGG.



DIGA DI SABBIONE

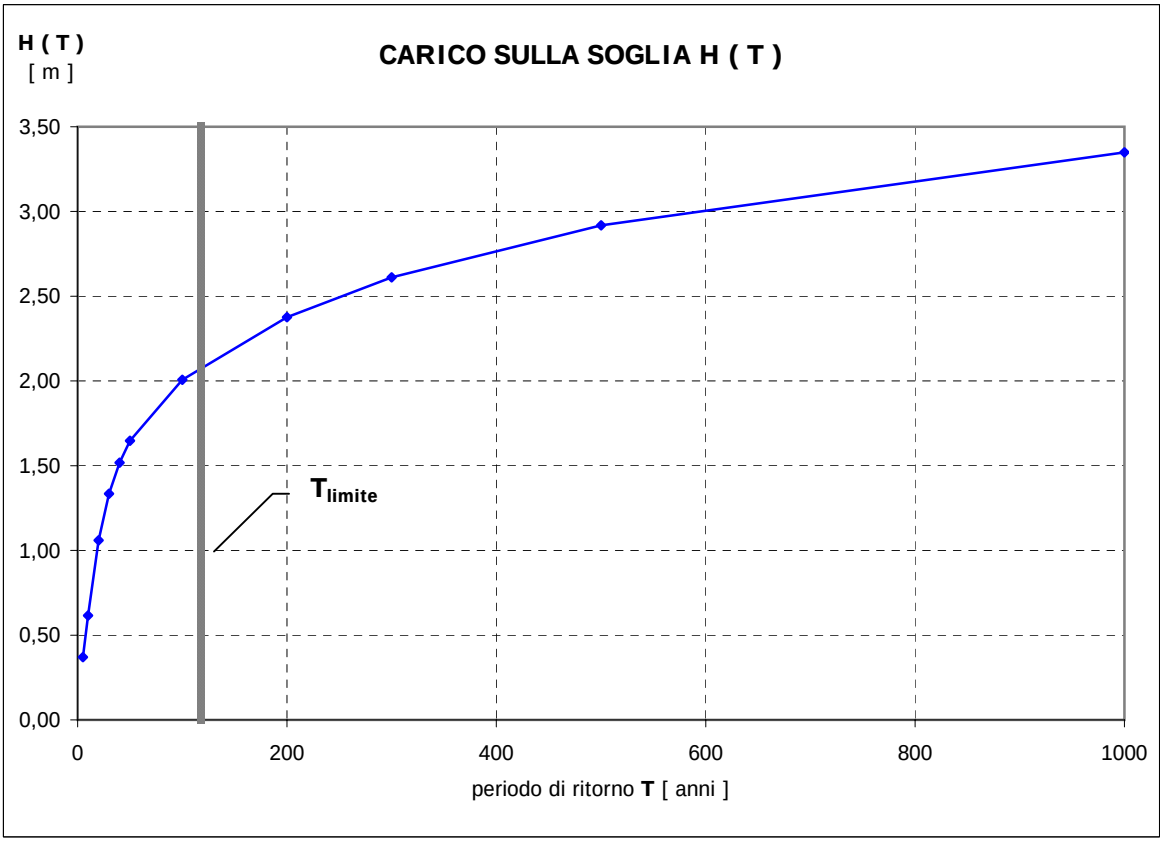
LAMINAZIONE - 1°SC. SUP. + 1° SC. ALLEGG.

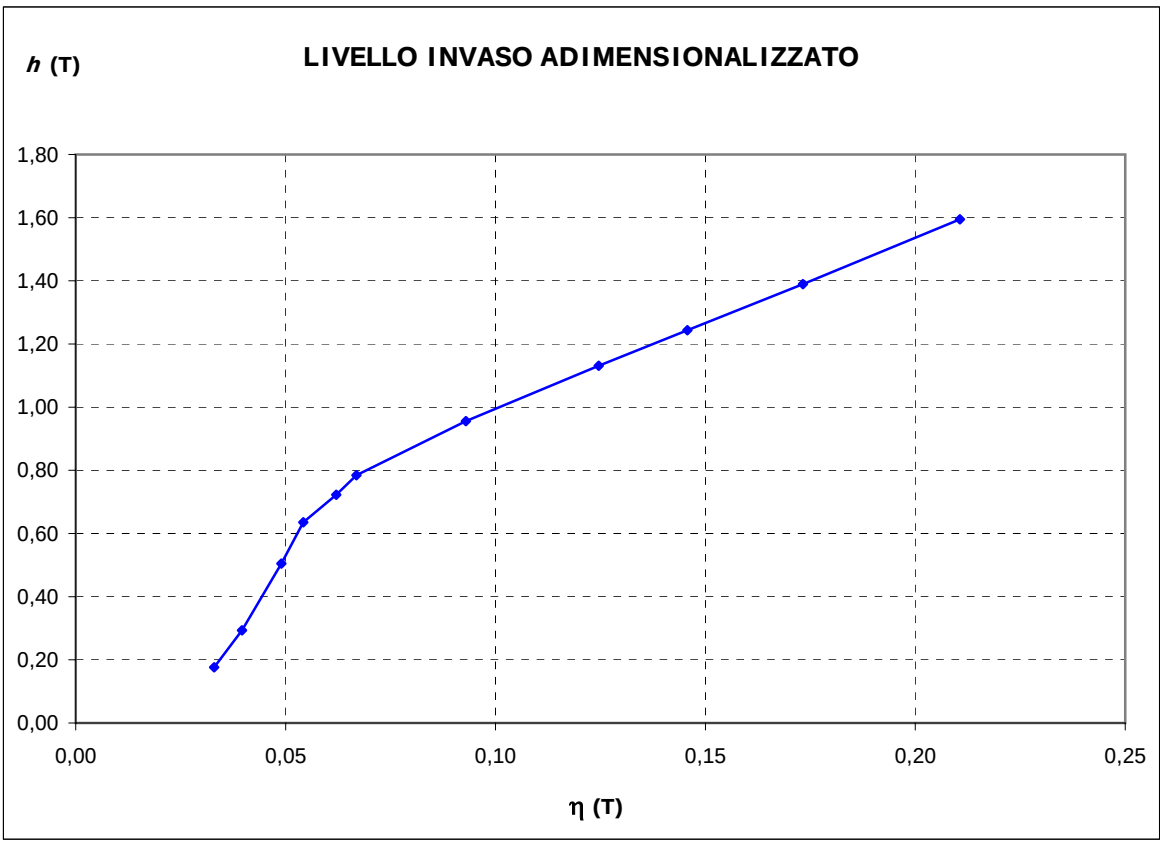




DIGA DI SABBIONE

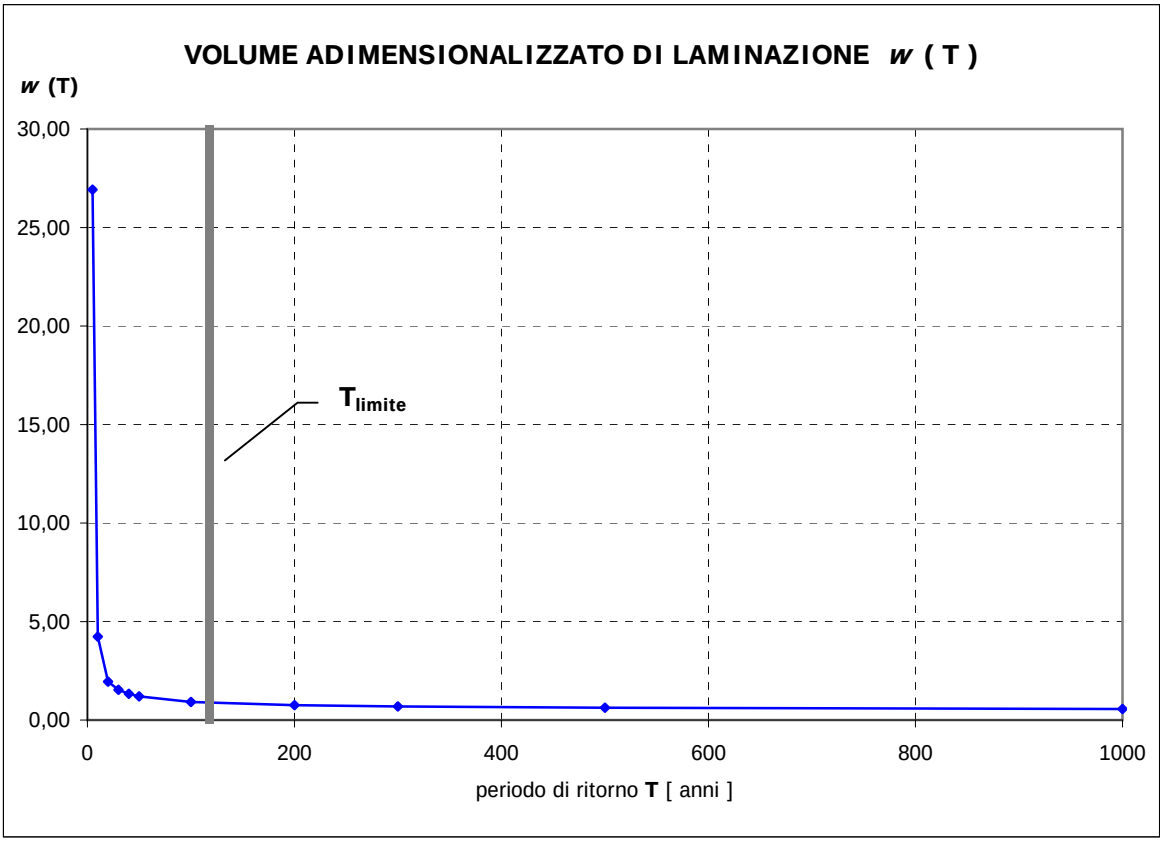
LAMINAZIONE - 1°SC. SUP. + 1° SC. ALLEGG.

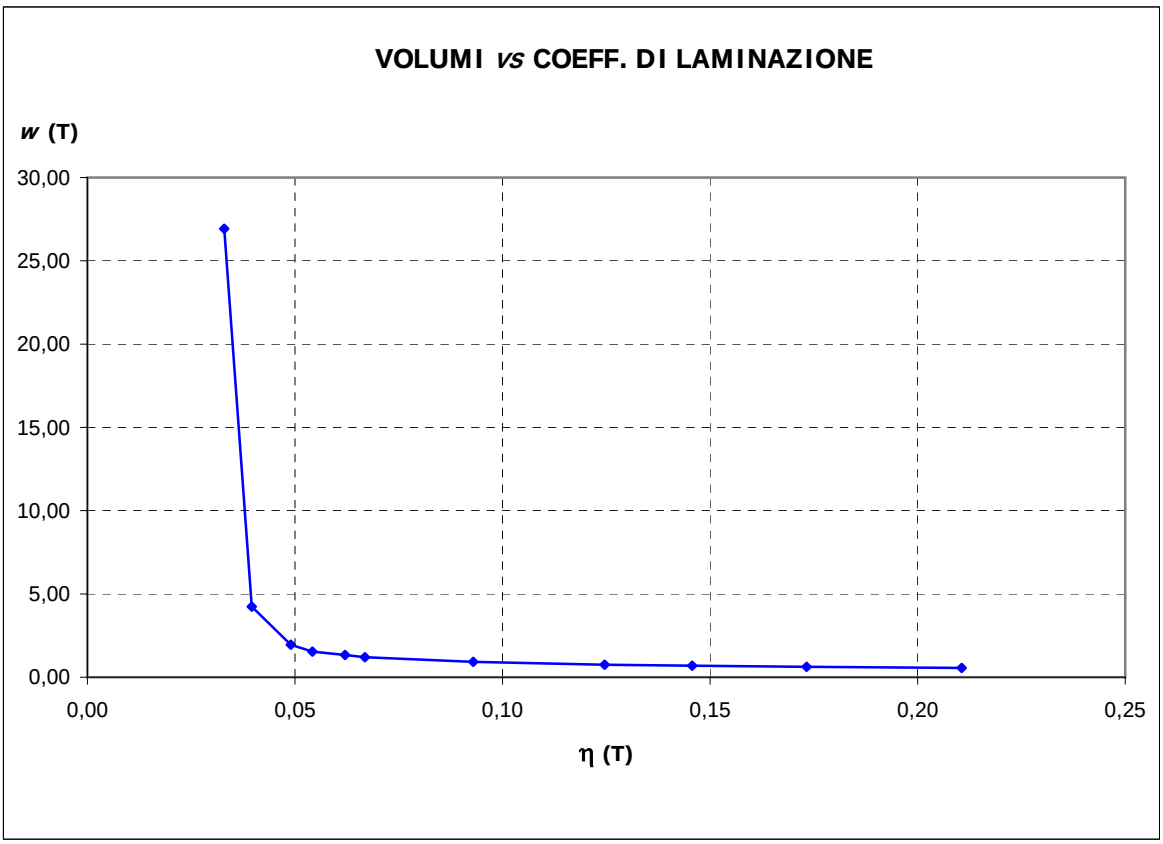




DIGA DI SABBIONE

LAMINAZIONE - 1°SC. SUP. + 1° SC. ALLEGG.





DIGA DI VAL TOGGIA

LAMINAZIONE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 17,71 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,31	23,21	2,72	0,117	0,14	29,5	121,2	4,115	0,139
10	1,69	29,94	4,02	0,134	0,18	75,5	157,1	2,082	0,180
20	2,17	38,44	5,95	0,155	0,23	147,2	203,7	1,384	0,233
30	2,53	44,82	7,62	0,170	0,28	210,0	240,2	1,144	0,275
40	2,82	49,95	9,11	0,182	0,31	266,0	270,4	1,017	0,310
50	3,07	54,38	10,49	0,193	0,34	317,9	297,1	0,935	0,340
100	3,89	68,91	15,59	0,226	0,44	510,9	386,5	0,757	0,443
200	4,73	83,79	21,75	0,260	0,55	743,2	482,2	0,649	0,553
300	5,23	92,64	25,78	0,278	0,62	897,5	539,7	0,601	0,619
500	5,86	103,80	31,17	0,300	0,70	1108,3	612,2	0,552	0,702
1000	6,71	118,86	38,87	0,327	0,81	1421,3	708,8	0,499	0,813
>2000	*8,21*	*145,48*	*53,05*	*0,365*	*1,00*	*2052,3*	*871,2*	*0,425*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,44 #

area totale del bacino **A** = 10,32 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,55 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,720 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,695 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,56 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 2158,00 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 2192,00 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 16,310 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 1,854E+00 Mm³

esponente **m1** = 0,836 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 2191,00 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 34,48 Mm³

carico massimo sulla soglia: 1,00 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 53,059 m³/s

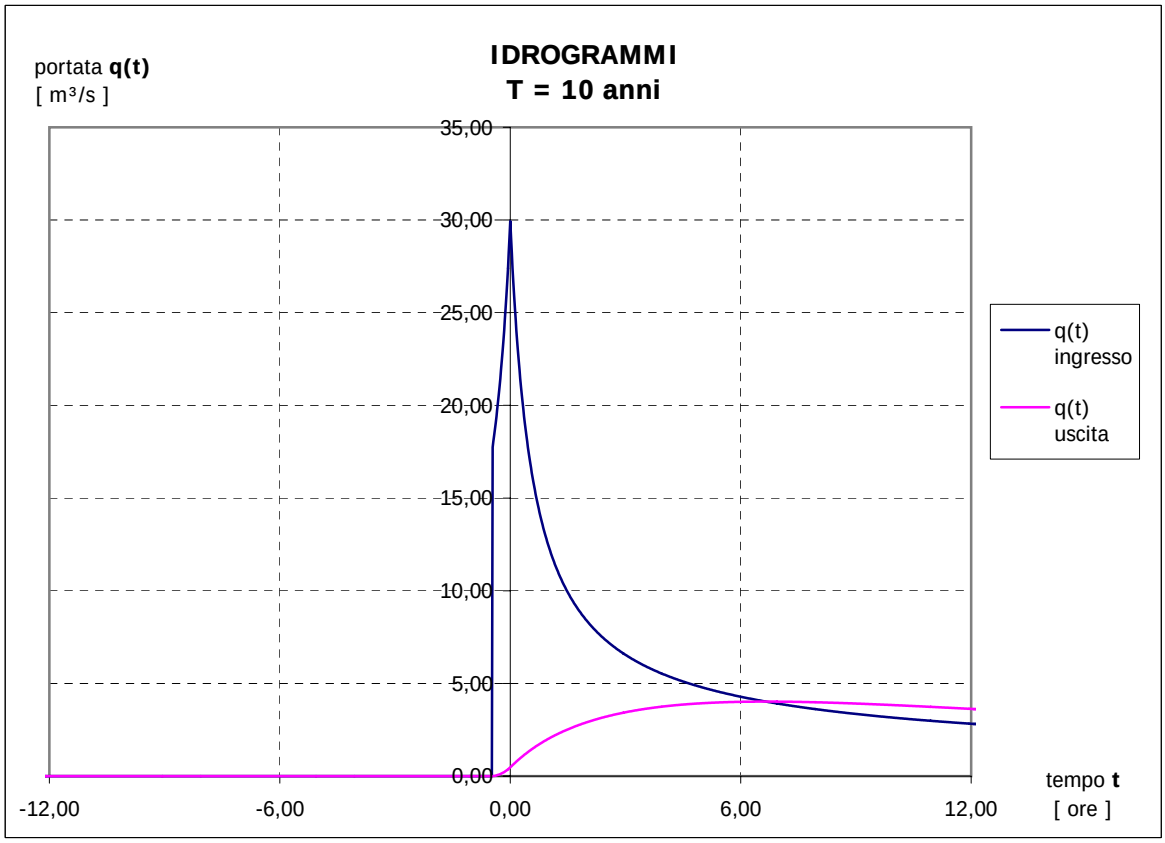
esponente **n1** = 1,504 #

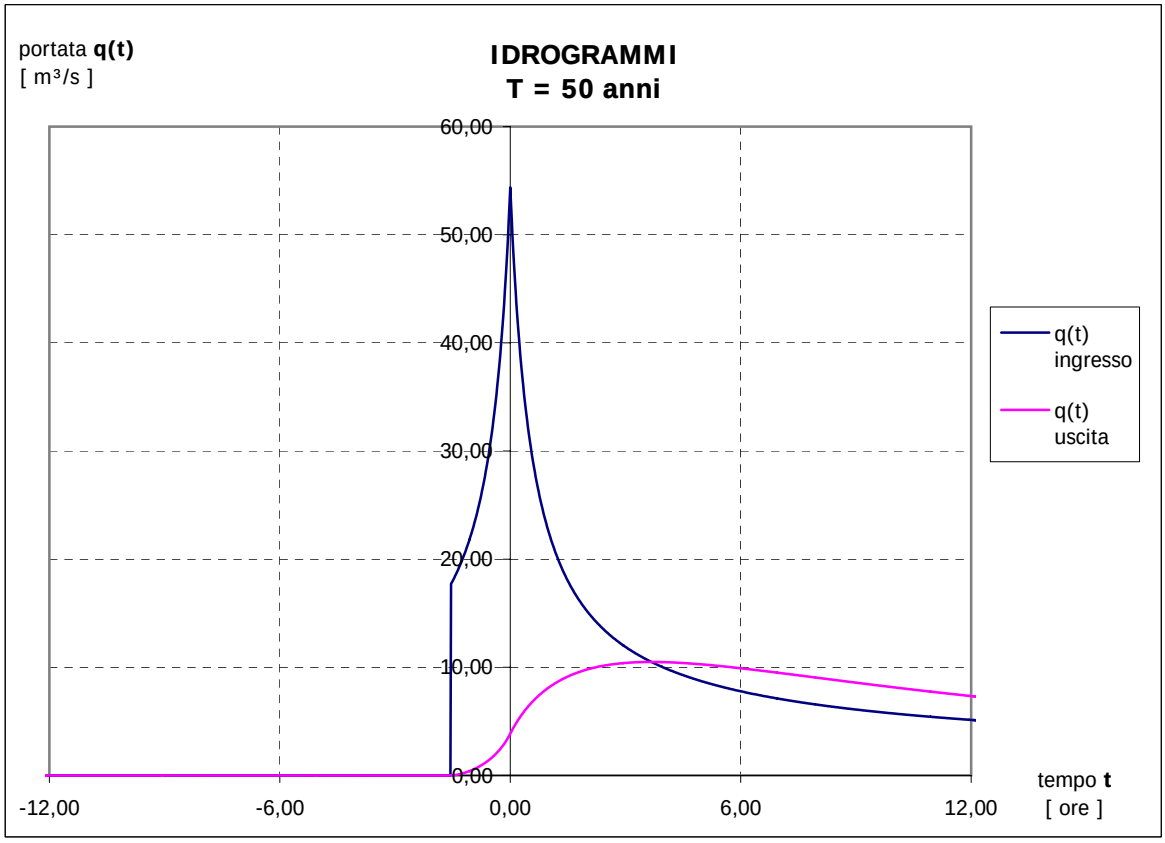
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

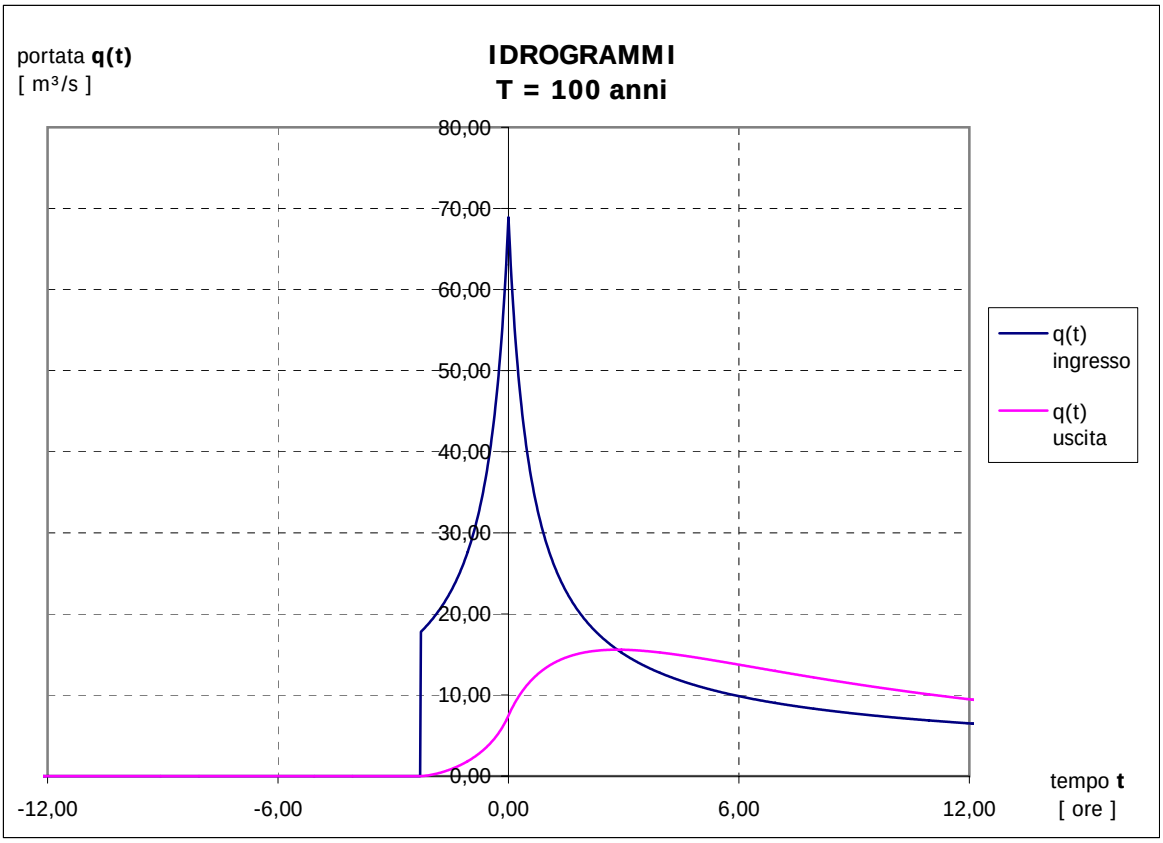
portata al colmo Q_T = **145,48** m³ / s

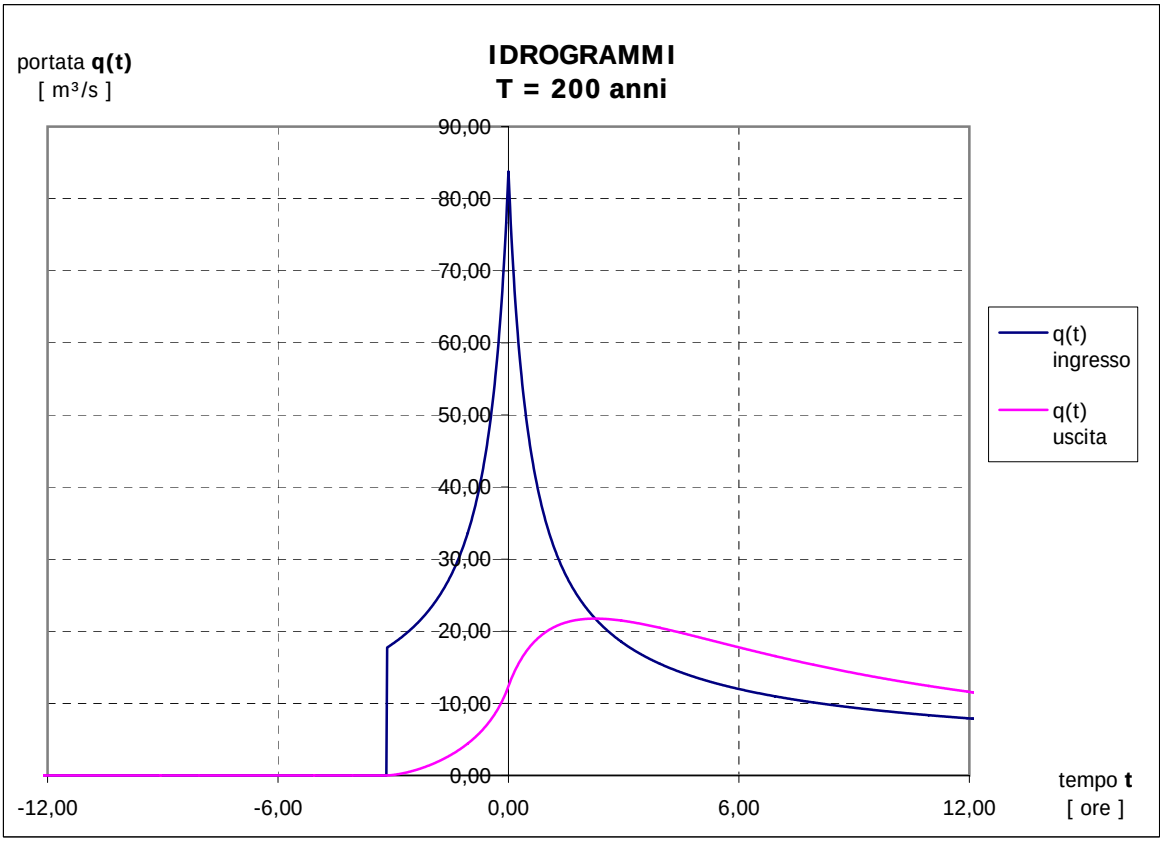
fattore di crescita K_T = **8,21**

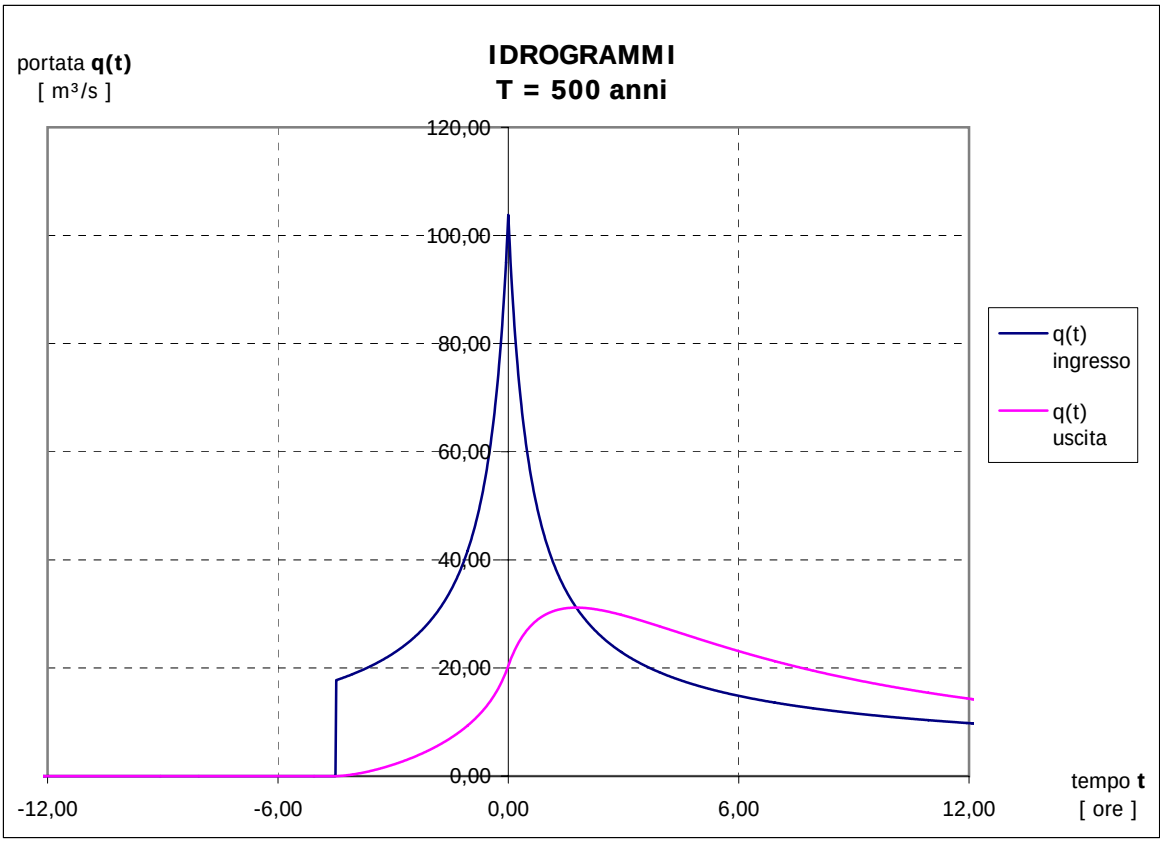
tempo di ritorno stimato **T** = **>2000** anni

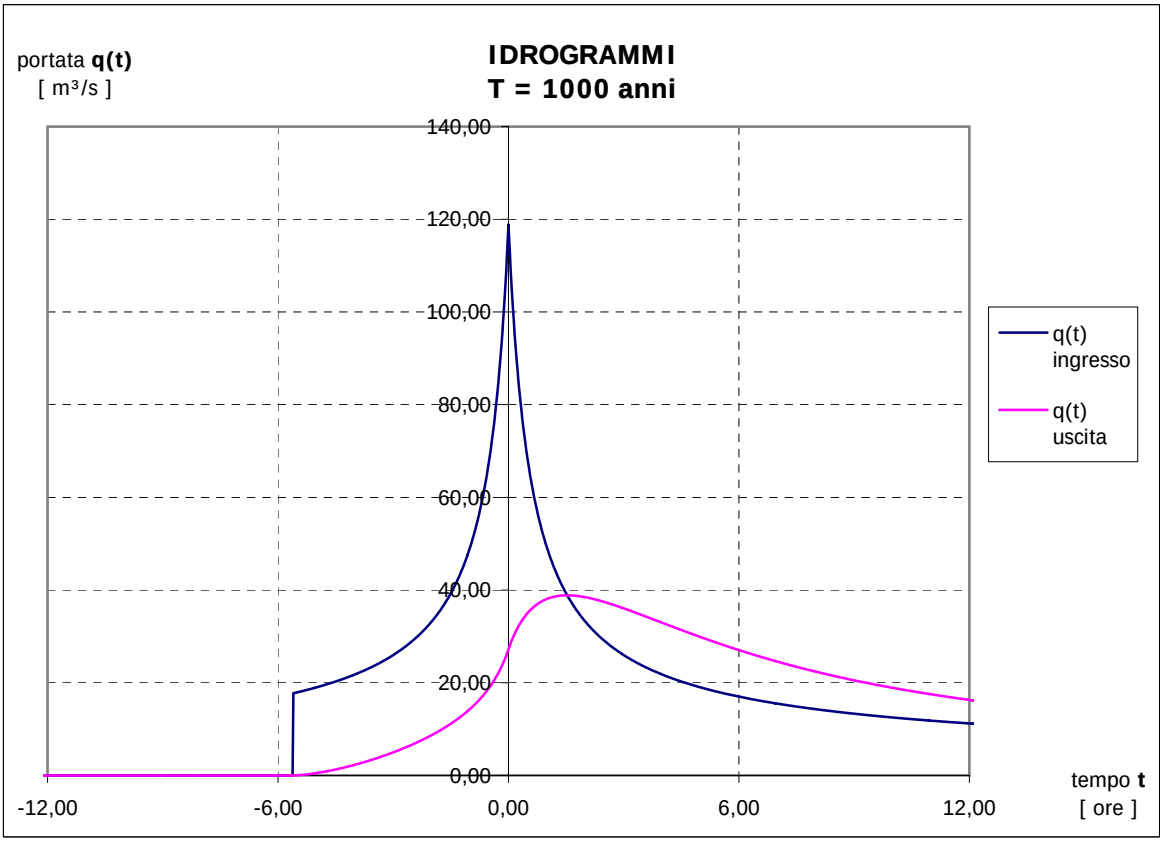

IDROGRAMMI
T = 10 anni
portata q(t)
[m³/s]
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita


IDROGRAMMI
T = 50 anni
portata q(t)
[m³/s]
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

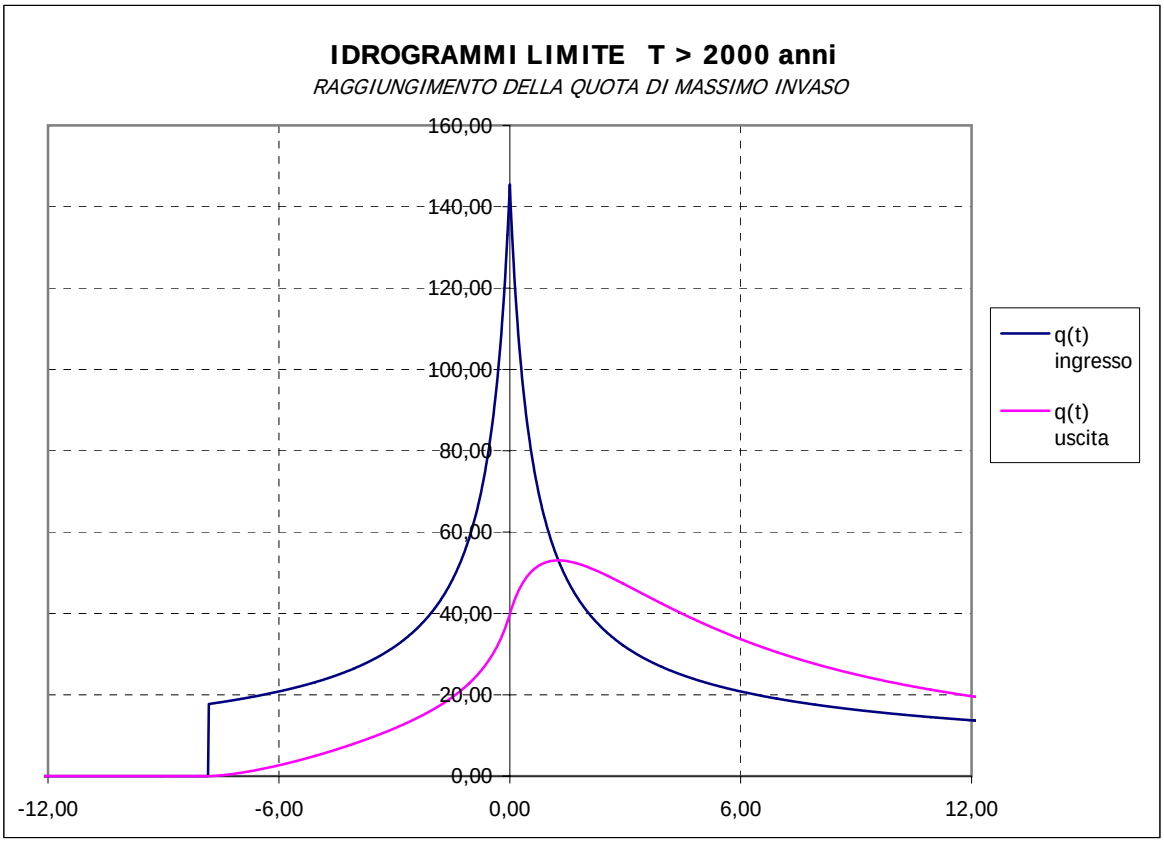

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 100 anni
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

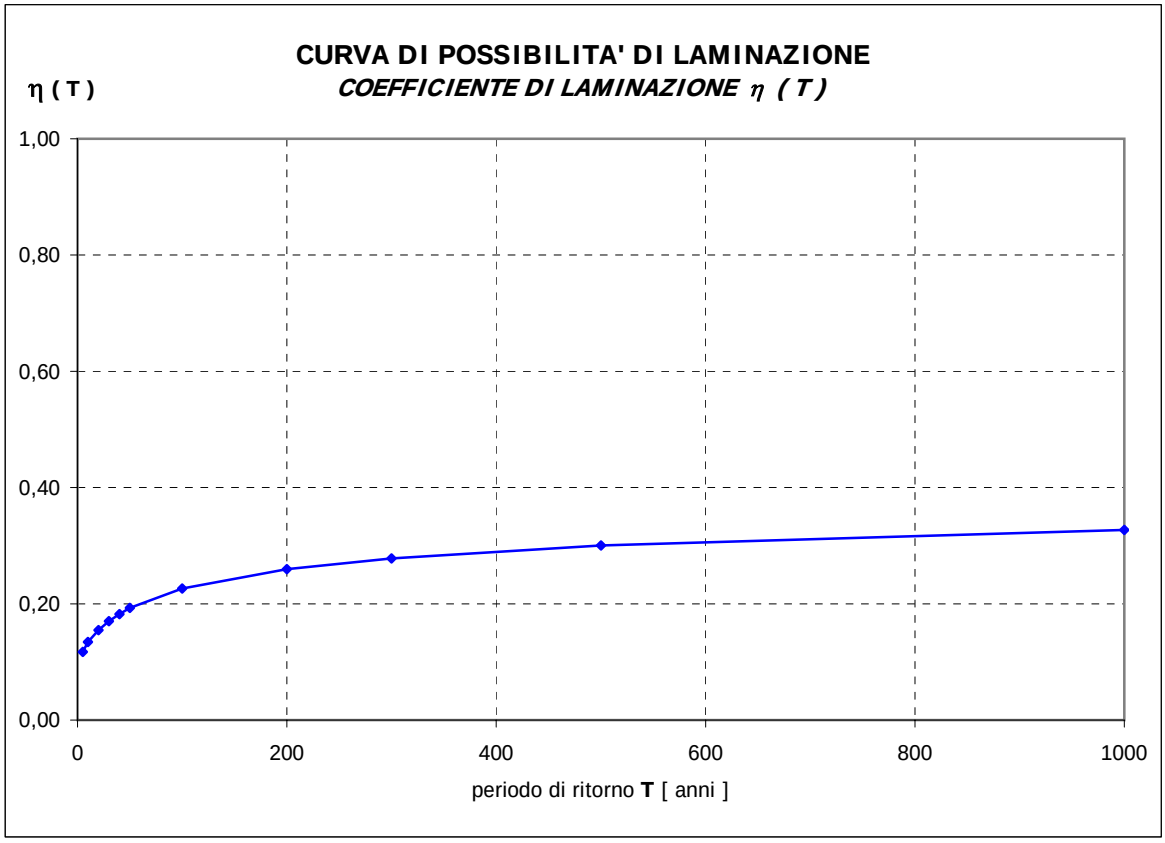

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 200 anni
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

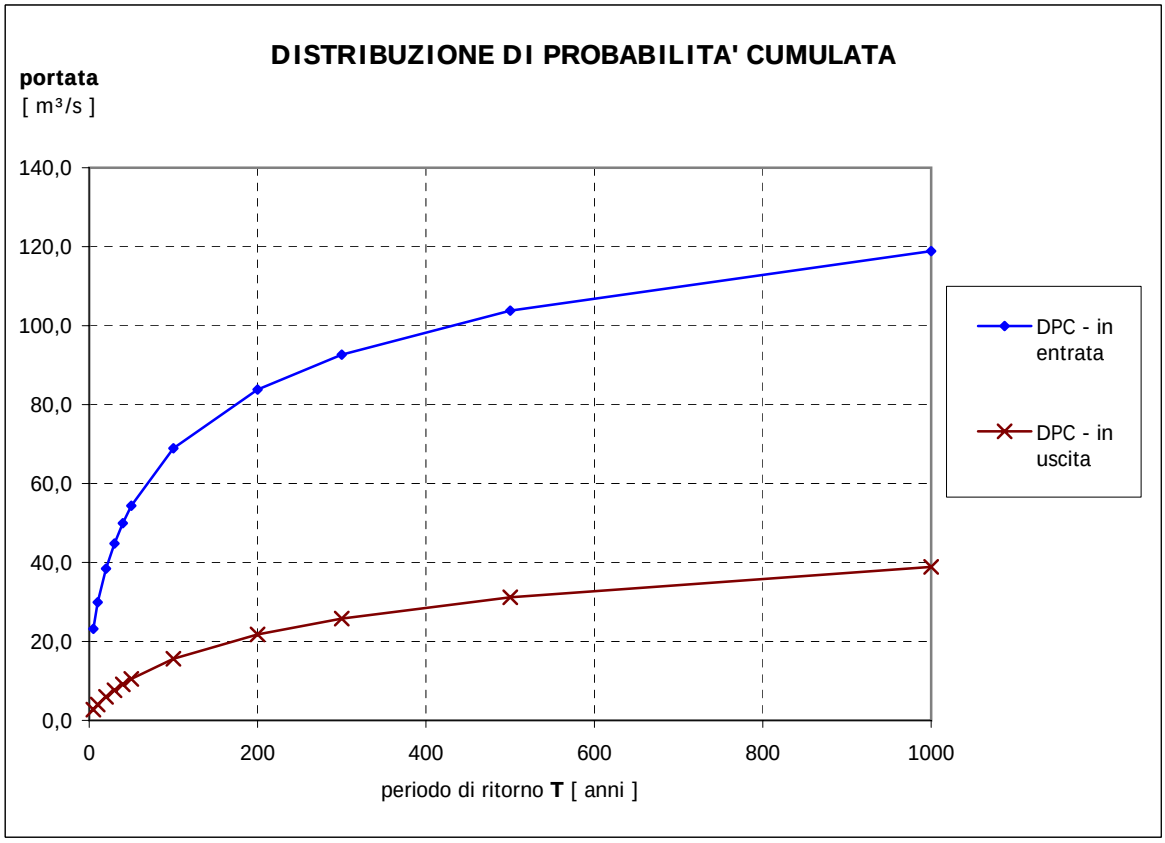

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 500 anni
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

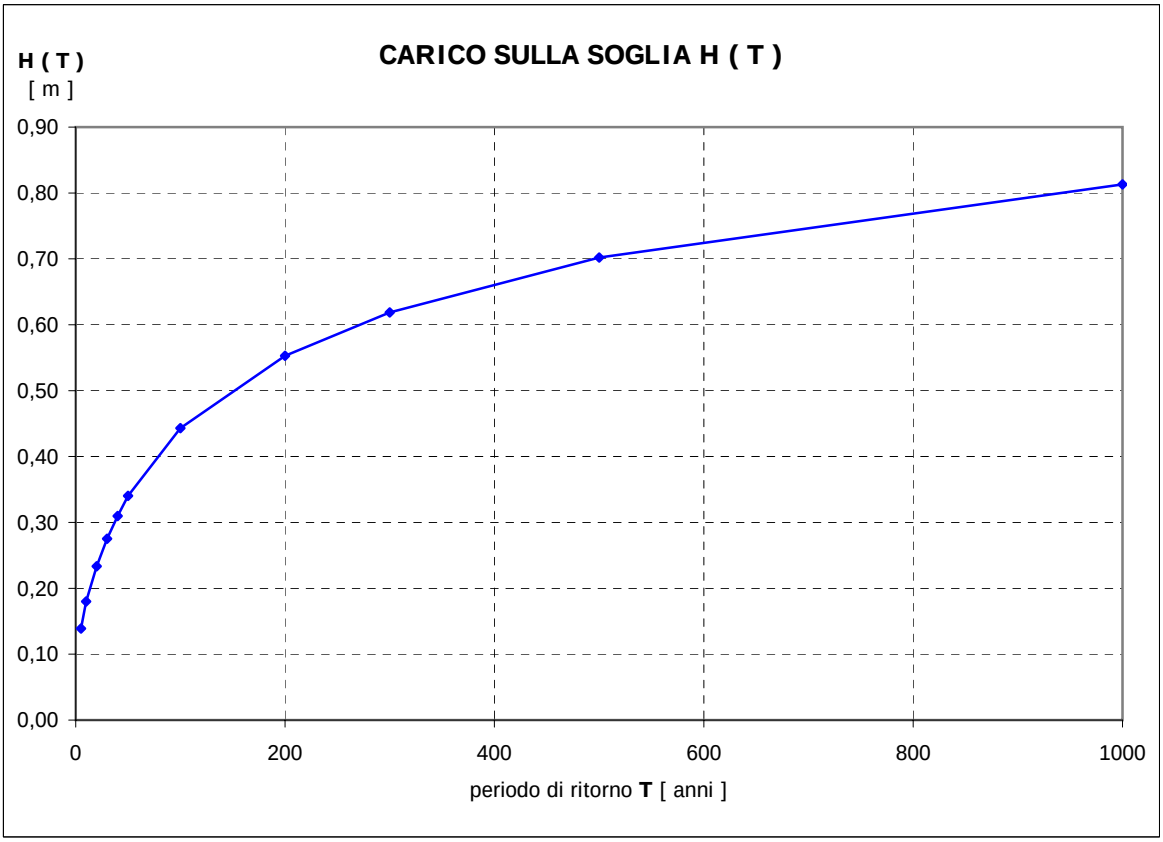

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 1000 anni
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

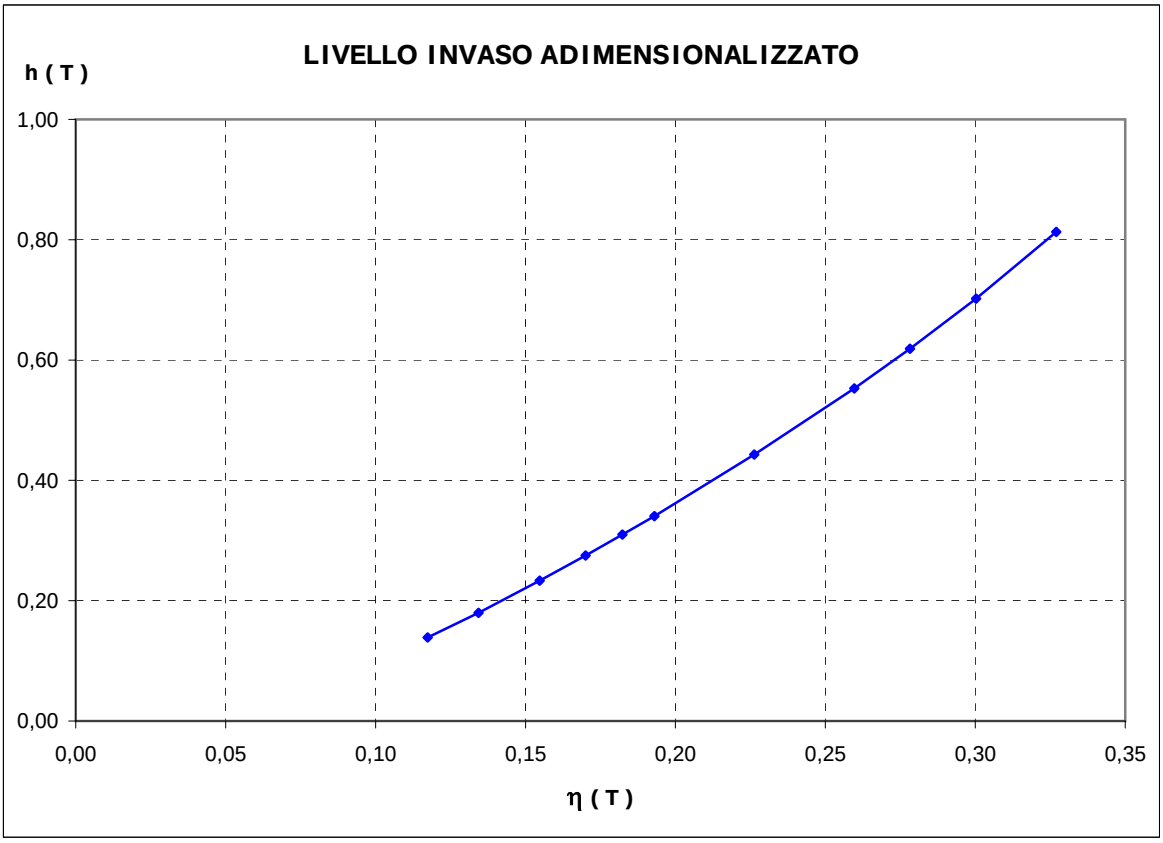
DIGA DI VAL TOGGIA

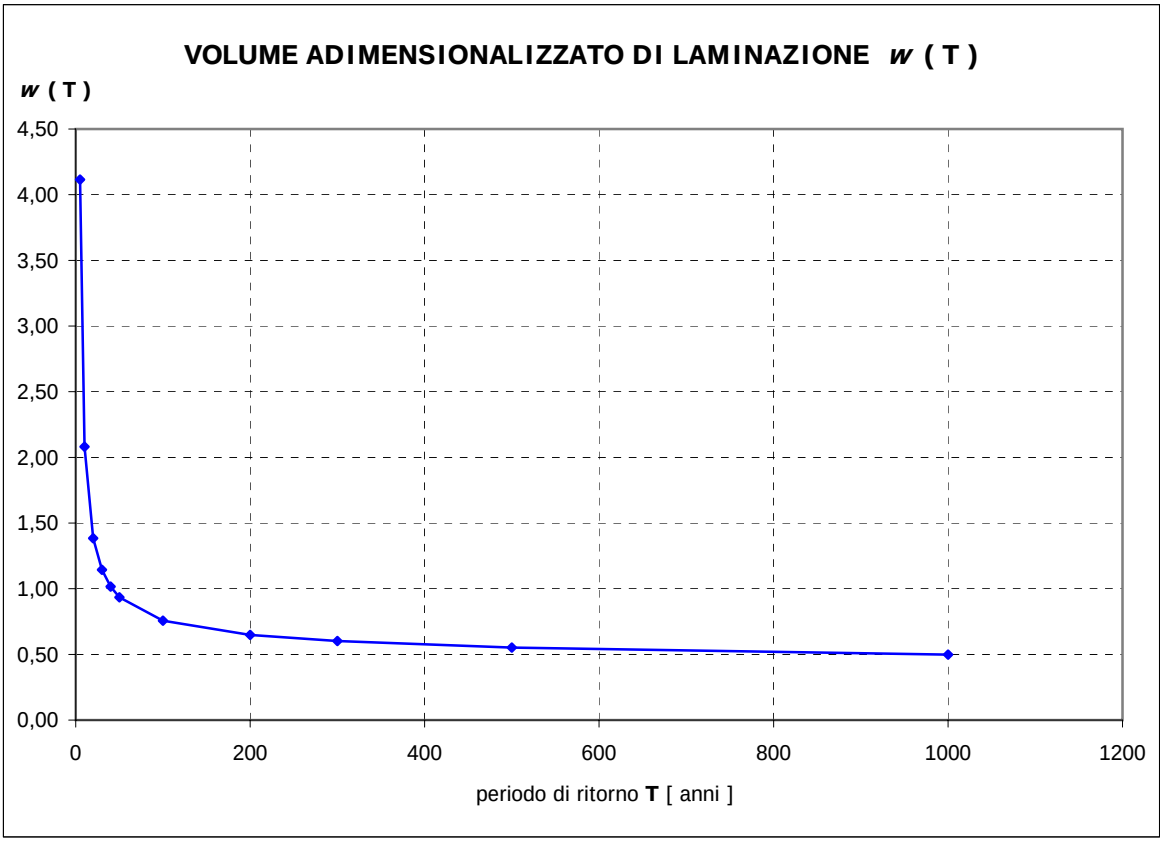


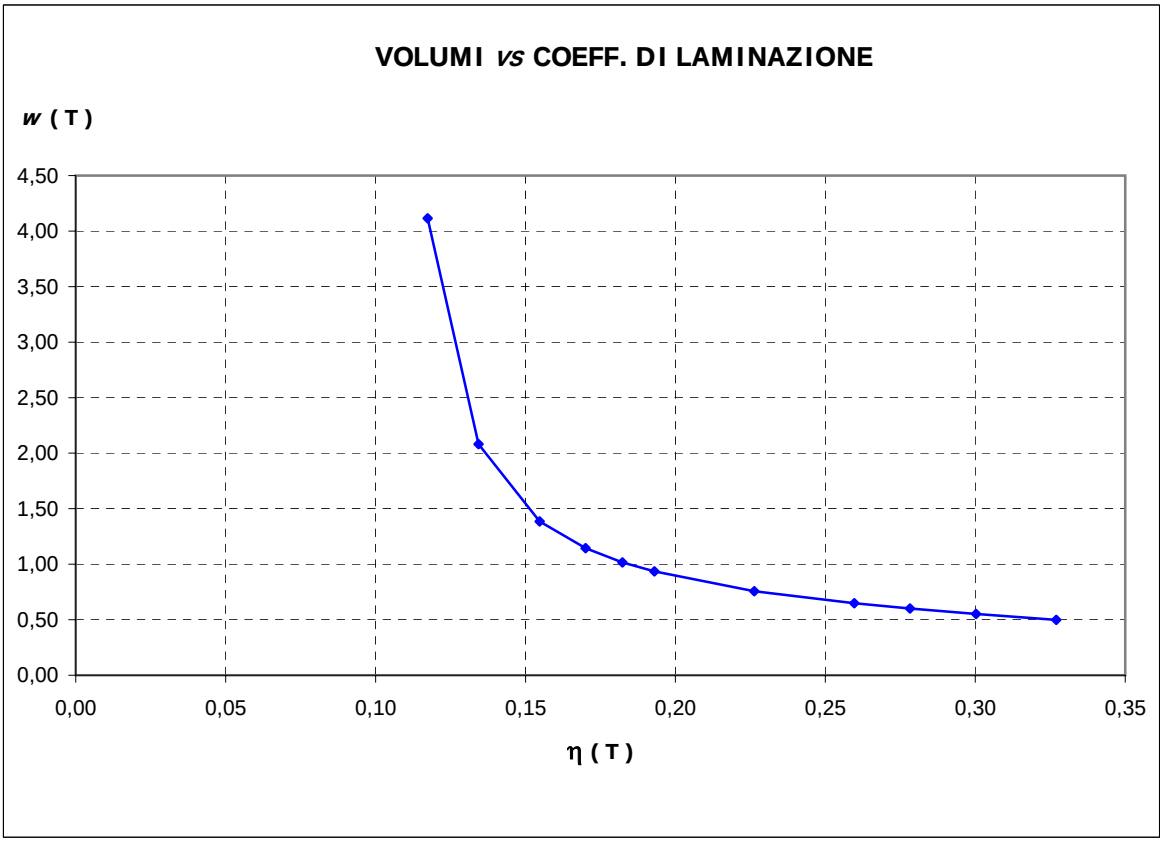

CURVA DI POSSIBILITA' DI LAMINAZIONE
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE η (T)
η (T)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]


DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' CUMULATA
portata
[m³/s]
140,0
120,0
100,0
80,0
60,0
40,0
20,0
0,0
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]
DPC - in entrata
DPC - in uscita


CARICO SULLA SOGLIA H (T)
H (T)
[m]
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]


LIVELLO INVASO ADIMENSIONALIZZATO
h (T)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
0,25
0,30
0,35
η (T)


VOLUME ADIMENSIONALIZZATO DI LAMINAZIONE w (T)
w (T)
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
200
400
600
800
1000
1200
periodo di ritorno T [anni]


VOLUMI vs COEFF. DI LAMINAZIONE
w (T)
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
0,25
0,30
0,35
η (T)

DIGA DI VANNINO

LAMINAZIONE - 1° SCARICO DI SUPERFICIE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 20,75 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,22	25,32	5,49	0,217	0,27	25,3	88,2	3,481	0,230
10	1,82	37,77	10,74	0,284	0,41	119,9	133,9	1,117	0,349
20	2,88	59,76	24,05	0,402	0,68	366,5	221,5	0,604	0,574
30	3,58	74,29	34,84	0,469	0,85	580,2	279,4	0,482	0,722
40	4,08	84,66	43,01	0,508	0,97	756,6	319,0	0,422	0,823
50	4,47	92,75	49,43	0,533	1,06	907,7	348,2	0,384	0,897
100	5,67	117,65	68,33	0,581	1,29	1445,6	427,1	0,295	1,096
200	6,87	142,55	86,13	0,604	1,49	2091,9	494,5	0,236	1,264
300	7,56	156,87	96,12	0,613	1,60	2511,8	530,2	0,211	1,353
500	8,44	175,13	108,82	0,621	1,72	3097,8	573,8	0,185	1,461
1000	9,63	199,82	126,09	0,631	1,89	3979,6	630,2	0,158	1,601
67,5	*5,07*	*105,11*	*58,96*	*0,561*	*1,18*	*1160,9*	*389,1*	*0,335*	*1,000*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,47 #

area totale del bacino **A** = 11,94 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,65 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,727 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,688 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,53 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 2150,52 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 2173,05 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 0,490 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 0,019 Mm³

esponente **m1** = 1,744 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia scarico di superficie: 2171,87 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia scarico di sup.: 3,96 Mm³

carico massimo sulla soglia: 1,18 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 45,122 m³/s

esponente **n1** = 1,616 #

PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

portata al colmo Q_T = **105,11** m³ / s

fattore di crescita K_T = **5,07**

tempo di ritorno stimato **T** = **67,51** anni

DIGA DI VANNINO

LAMINAZIONE 1° E 2° SC. SUPERFICIE

PORTATA DI PROGETTO

portata indice μ (Q) = 20,75 m³ / s

T [anni]	K_T [-]	Q_T [m³/s]	$Q_{D,T,max}$ [m³/s]	η [-]	H_{max} [m]	V_{piena} [10³ m³/s]	$V_{invasati}$ [10³ m³/s]	*w* [-]	*h* [-]
5	1,22	25,32	4,13	0,163	0,37	25,3	113,8	4,491	0,316
10	1,82	37,77	7,71	0,204	0,56	119,9	172,4	1,438	0,477
20	2,88	59,76	16,48	0,276	0,93	366,5	286,3	0,781	0,787
30	3,58	74,29	23,81	0,320	1,18	580,2	366,6	0,632	1,002
40	4,08	84,66	29,67	0,350	1,37	756,6	425,3	0,562	1,159
50	4,47	92,75	34,53	0,372	1,51	907,7	471,3	0,519	1,281
100	5,67	117,65	52,03	0,442	1,92	1445,6	602,2	0,417	1,625
200	6,87	142,55	75,42	0,529	2,22	2091,9	702,0	0,336	1,883
300	7,56	156,87	88,98	0,567	2,37	2511,8	749,9	0,299	2,007
500	8,44	175,13	105,54	0,603	2,53	3097,8	803,2	0,259	2,143
1000	9,63	199,82	126,56	0,633	2,71	3979,6	865,1	0,217	2,301
2850	*11,23*	*233,10*	*153,26*	*0,657*	*2,93*	*5328,2*	*937,3*	*0,176*	*2,483*

RAPPORTO DI RIDUZIONE

modello adottato: **NERC** ε_D = $(1 + b \cdot D)^{-c}$

esponente curva di probabilità pluviometrica **n** = 0,47 #

area totale del bacino **A** = 11,94 km²

celerità di propagazione onda di piena **C** = 1,65 m/s

tempo di ritardo $t_r = 1{,}25 \cdot A^{0,5} / (3{,}6 \cdot C)$ = 0,727 ore

parametro $b = 1 / (2 \cdot t_r)$ = 0,688 ore^{-1}

esponente $c = (1 - n)$ = 0,53 #

CURVA DEI VOLUMI DI INVASO

quota minima assoluta di invaso: 2150,52 m s.l.m.

quota di massimo invaso: 2173,05 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota di massimo invaso: 0,490 Mm³

equazione adottata: $V = v1 \cdot H^{m1}$

coefficiente **v1** = 0,019 Mm³

esponente **m1** = 1,744 #

SCALA DI EFFLUSSO

quota soglia ***1°scarico di superficie***: 2171,87 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia ***1°scarico di sup.***: 3,96 Mm³

carico massimo sulla soglia: 1,18 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 45,122 m³/s

esponente **n1** = 1,616 #

quota soglia ***2°scarico di superficie***: 2170,12 m s.l.m.

volume totale di invaso alla quota soglia ***2°scarico di sup.***: 3,41 Mm³

carico massimo sulla soglia: 2,93 m

equazione adottata: $q_u = c1 \cdot H^{n1}$

coefficiente **c1** = 18,454 m³/s

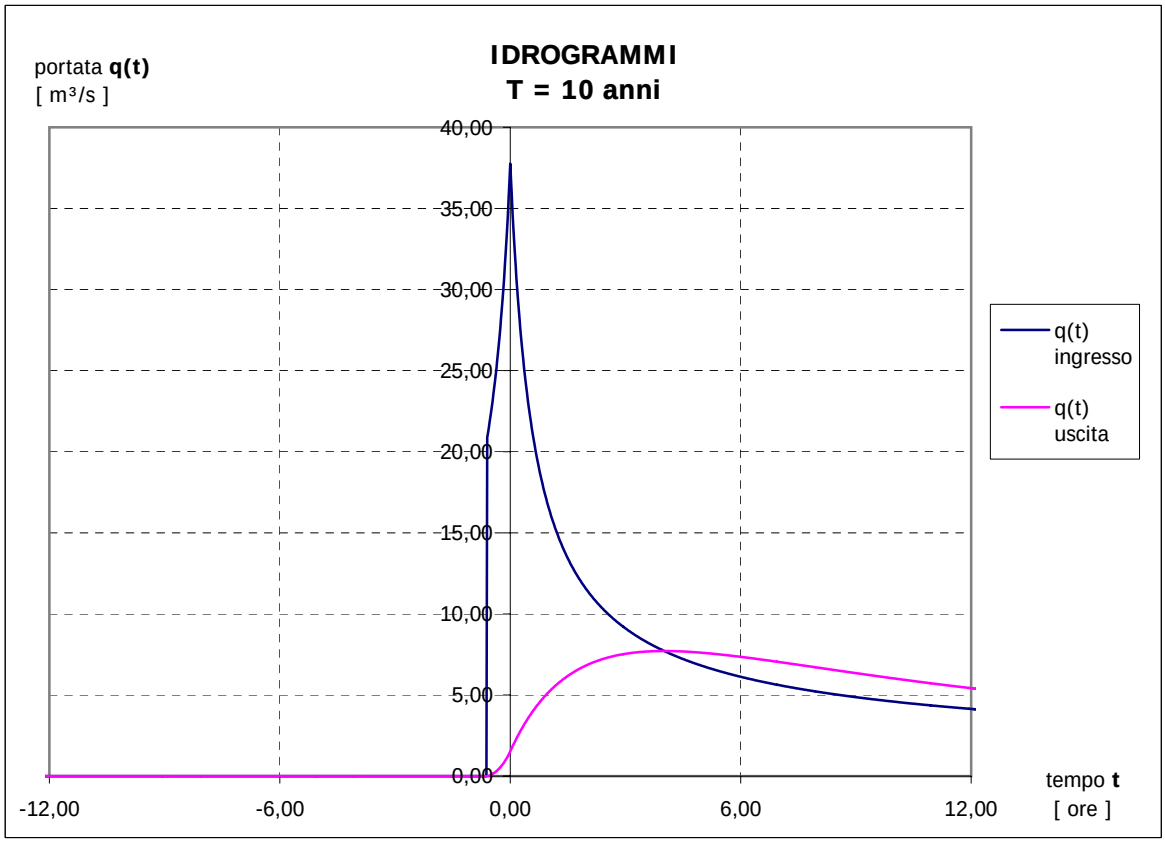
esponente **n1** = 1,517 #

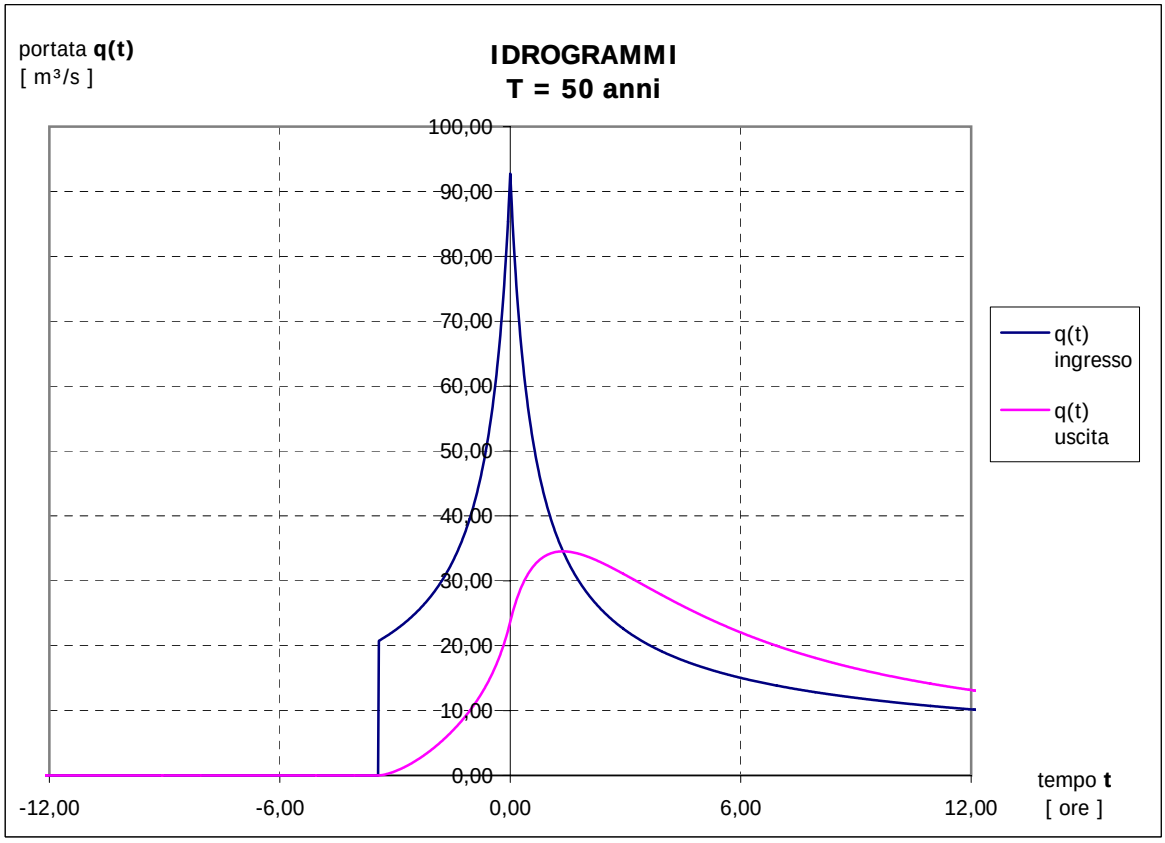
PORTATA MASSIMA AMMISSIBILE

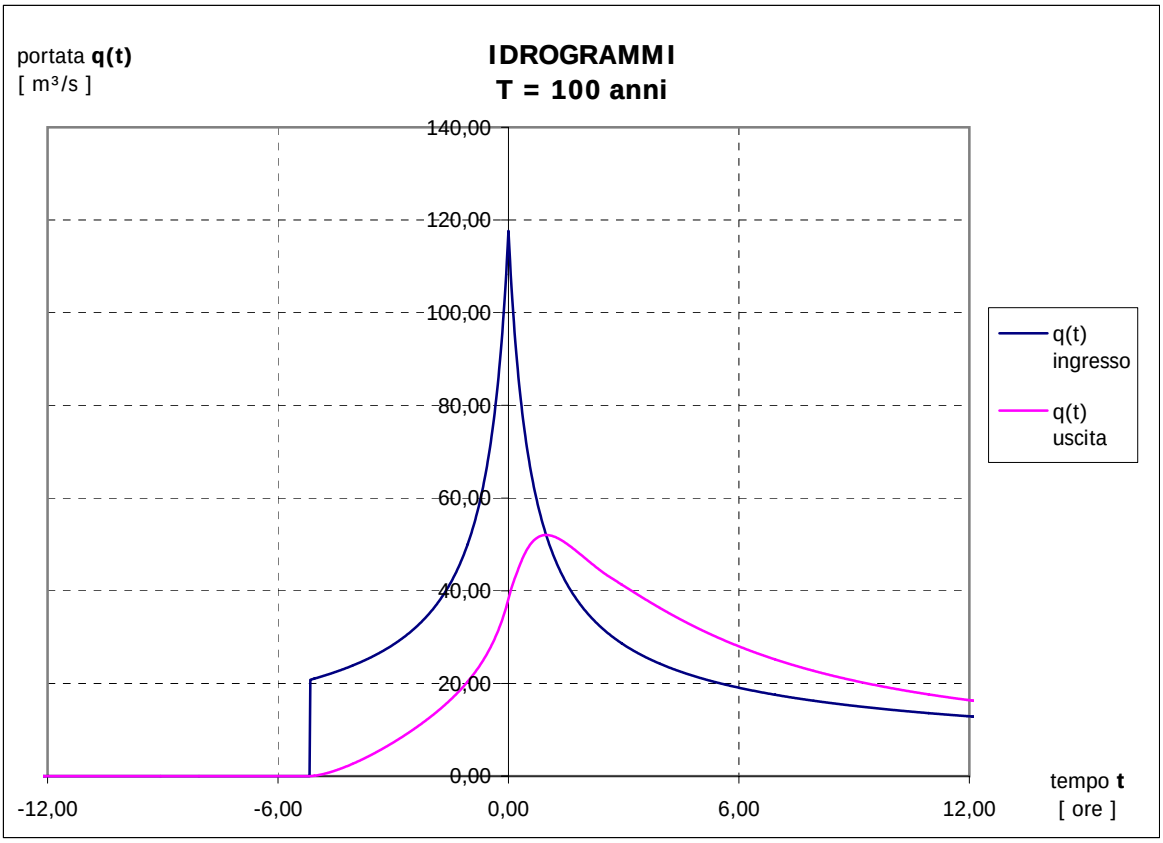
portata al colmo Q_T = **233,10** m³ / s

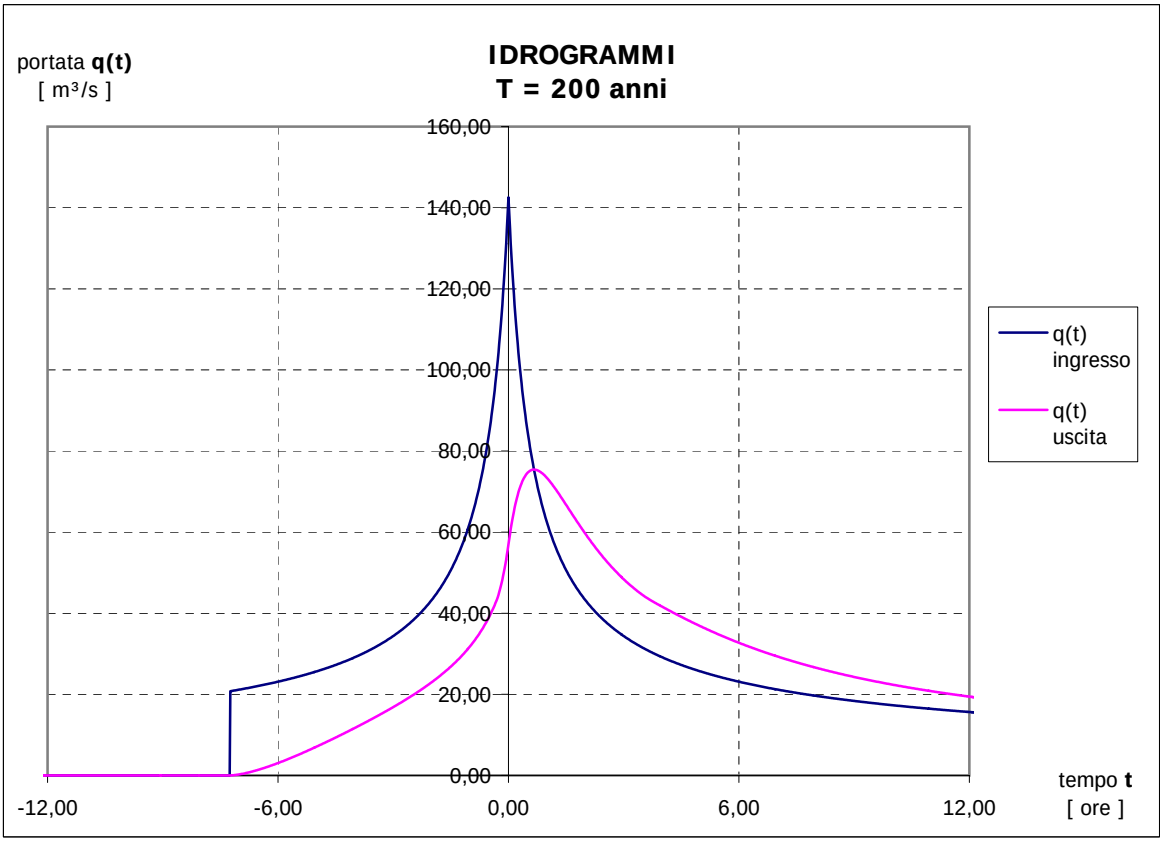
fattore di crescita K_T = **11,23**

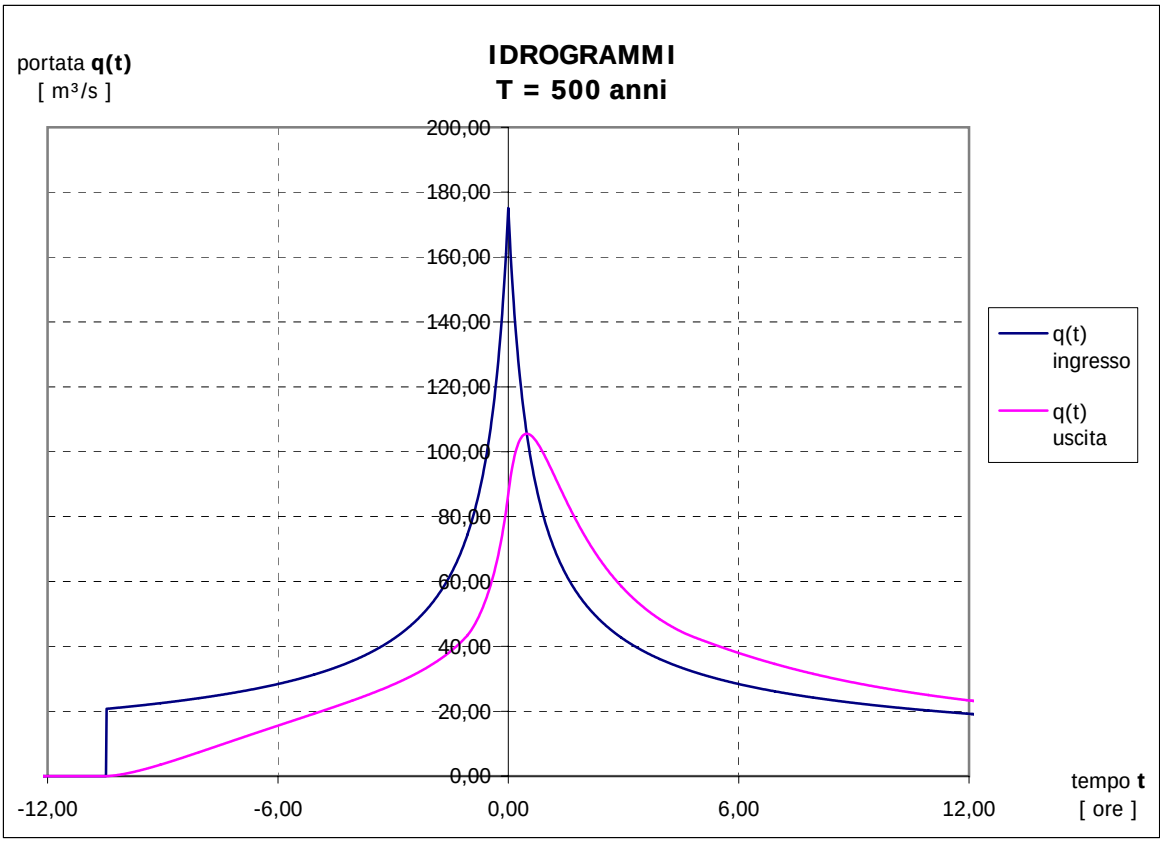
tempo di ritorno stimato **T** = **2850,47** anni

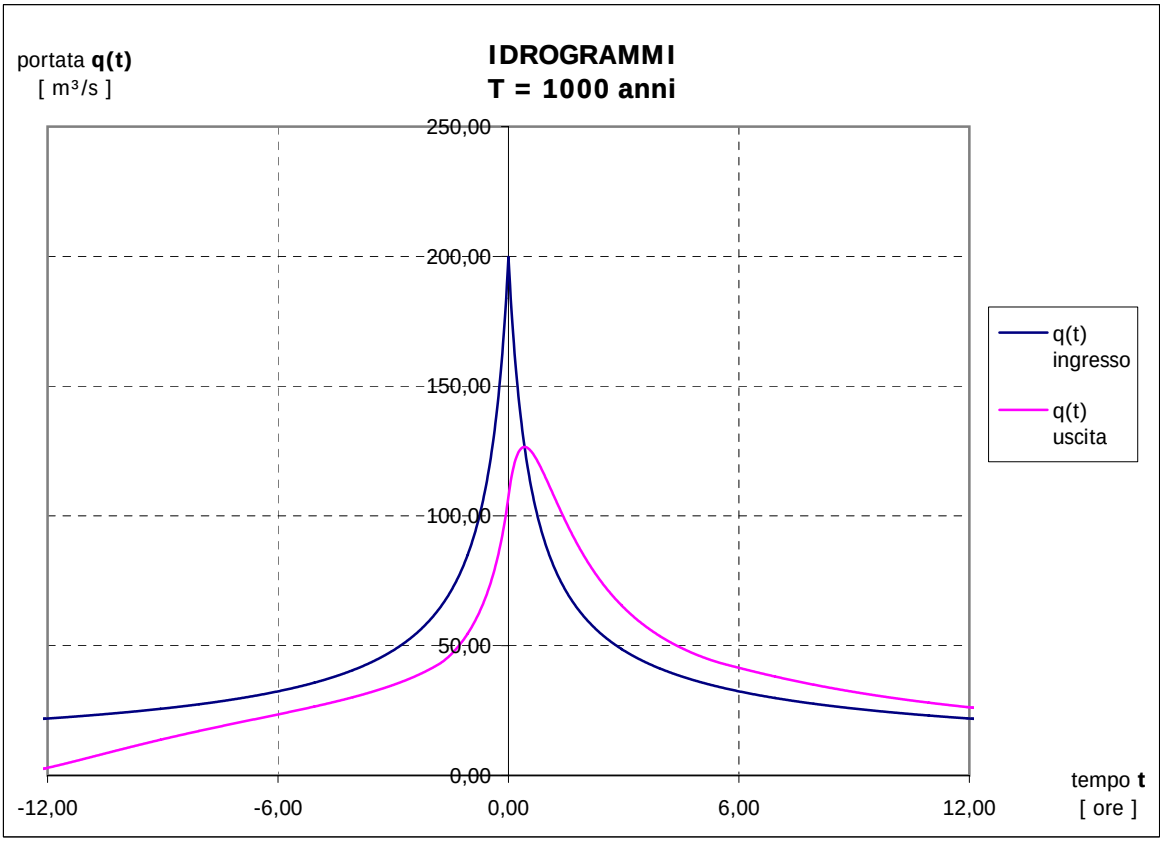

IDROGRAMMI
T = 10 anni
portata q(t)
[m³/s]
40,00
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

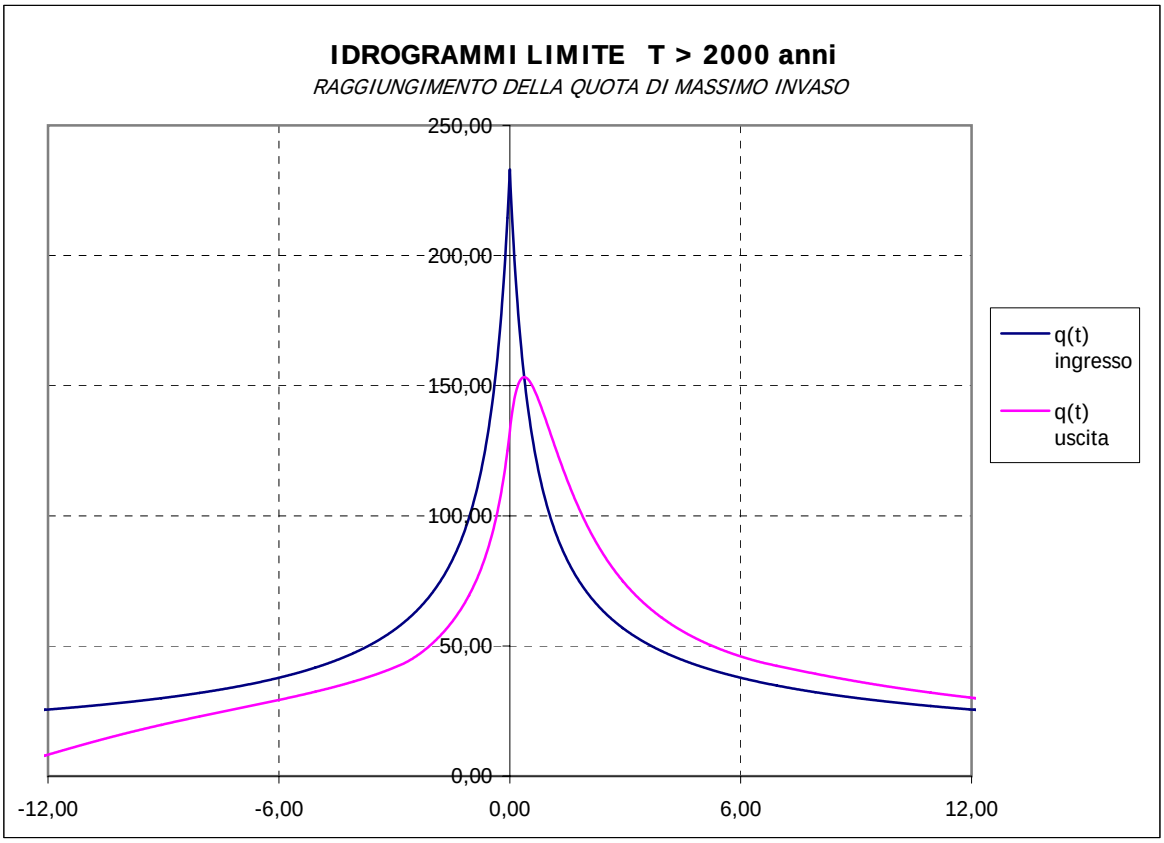

IDROGRAMMI
T = 50 anni
portata q(t)
[m³/s]
100,00
90,00
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

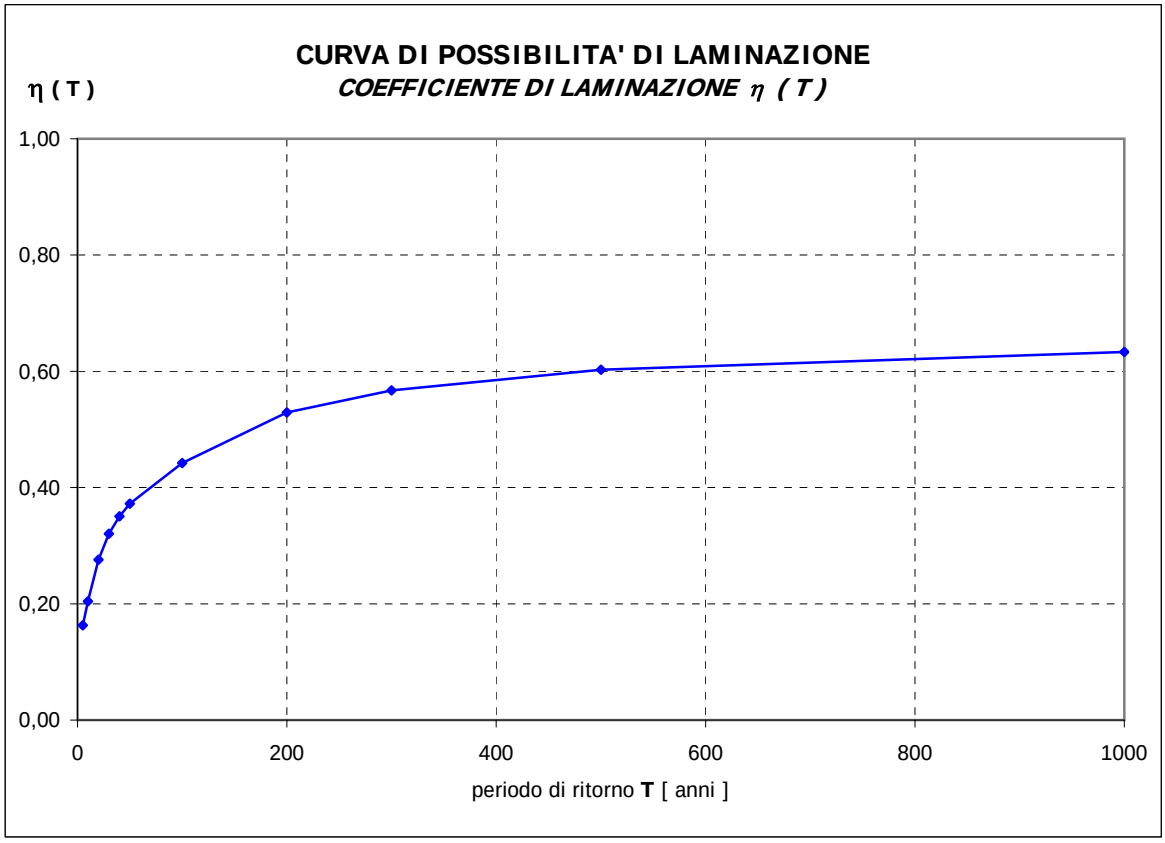

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 100 anni
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

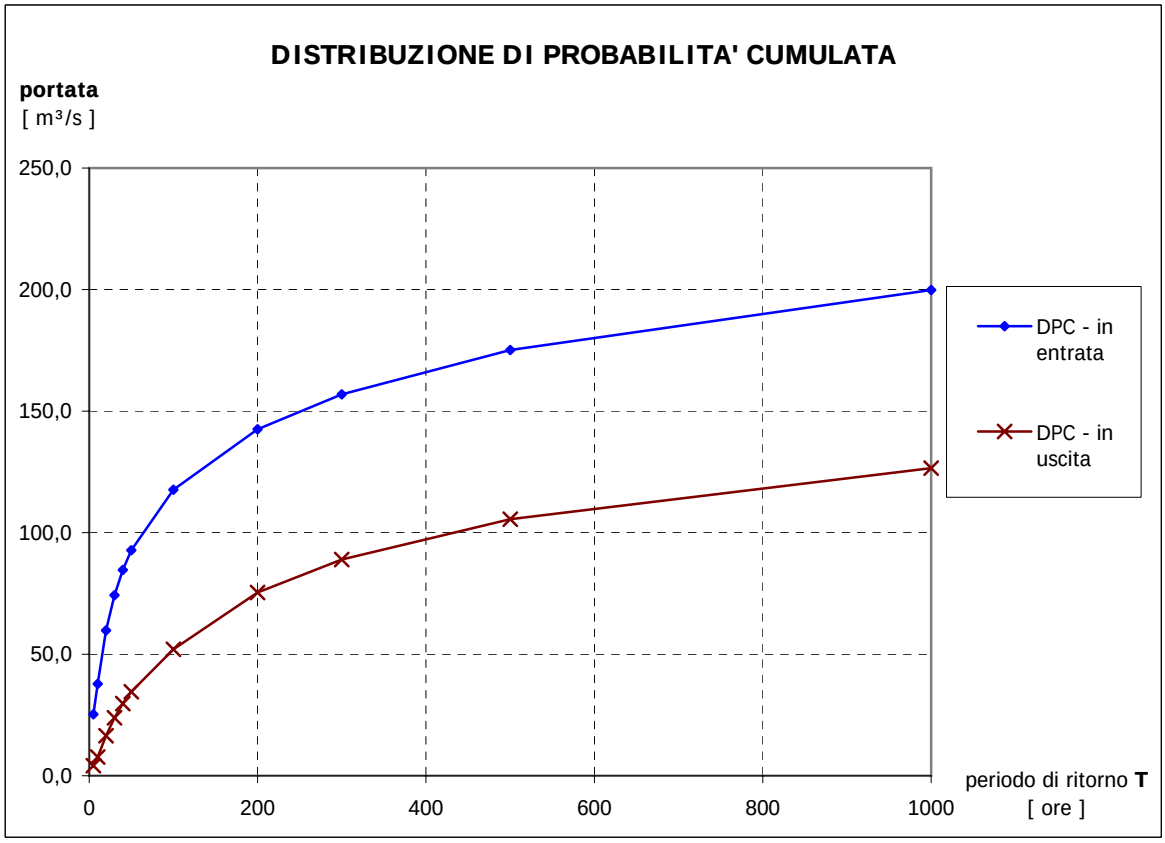

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 200 anni
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

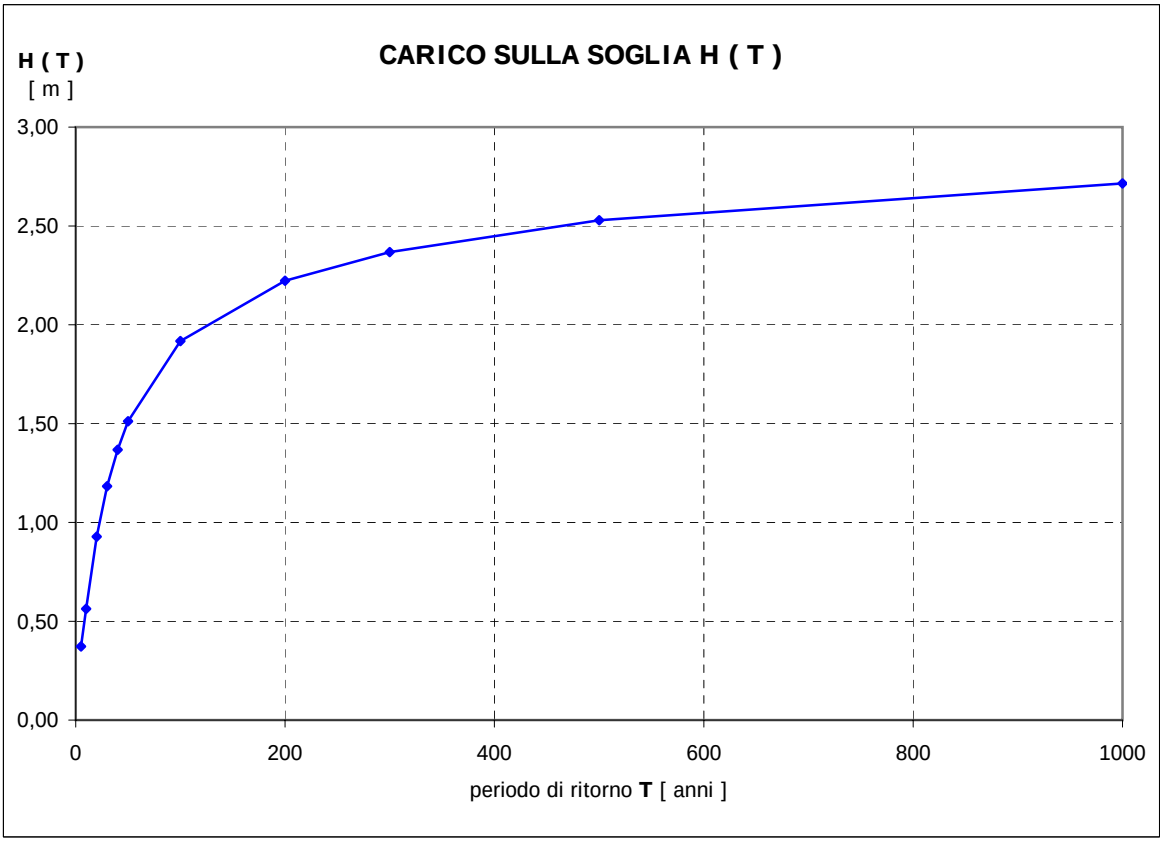

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 500 anni
200,00
180,00
160,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

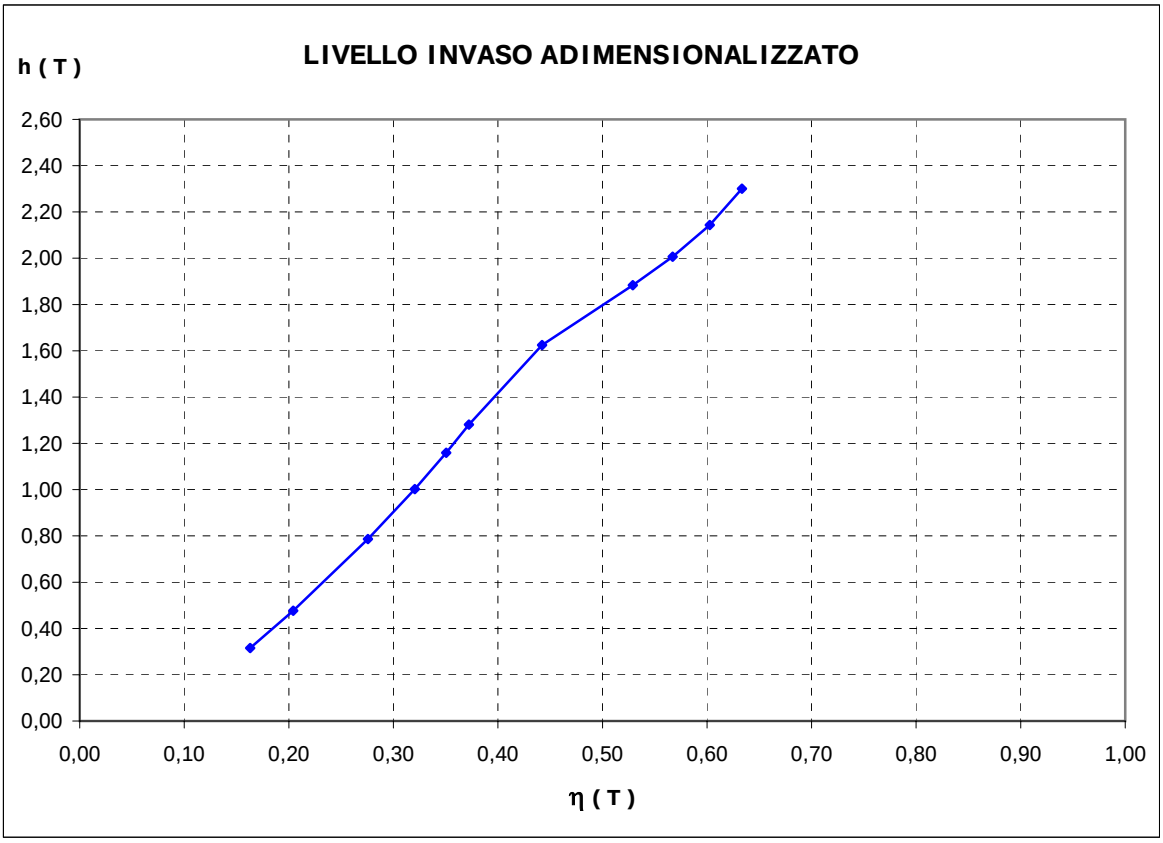

portata q(t)
[m³/s]
IDROGRAMMI
T = 1000 anni
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
tempo t
[ore]
q(t) ingresso
q(t) uscita

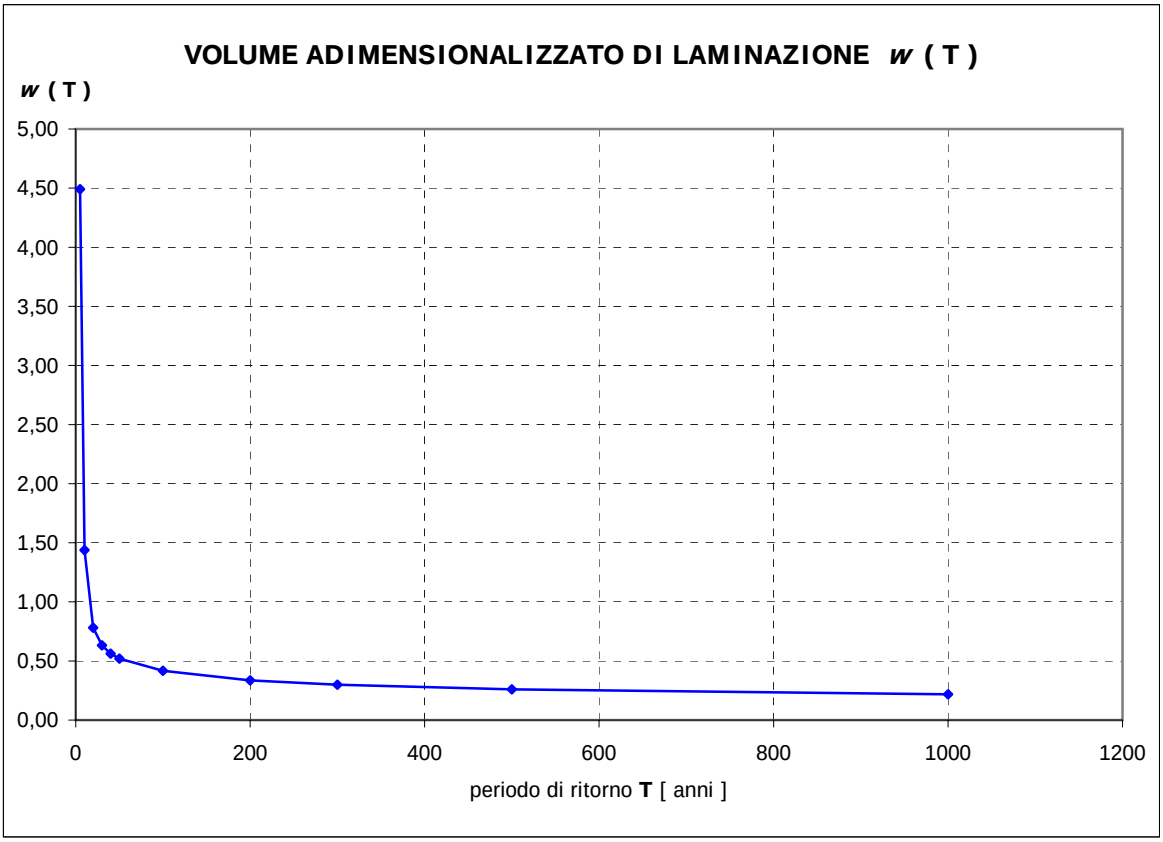

IDROGRAMMI LIMITE T > 2000 anni
RAGGIUNGIMENTO DELLA QUOTA DI MASSIMO INVASO
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
0,00
-12,00
-6,00
0,00
6,00
12,00
q(t) ingresso
q(t) uscita

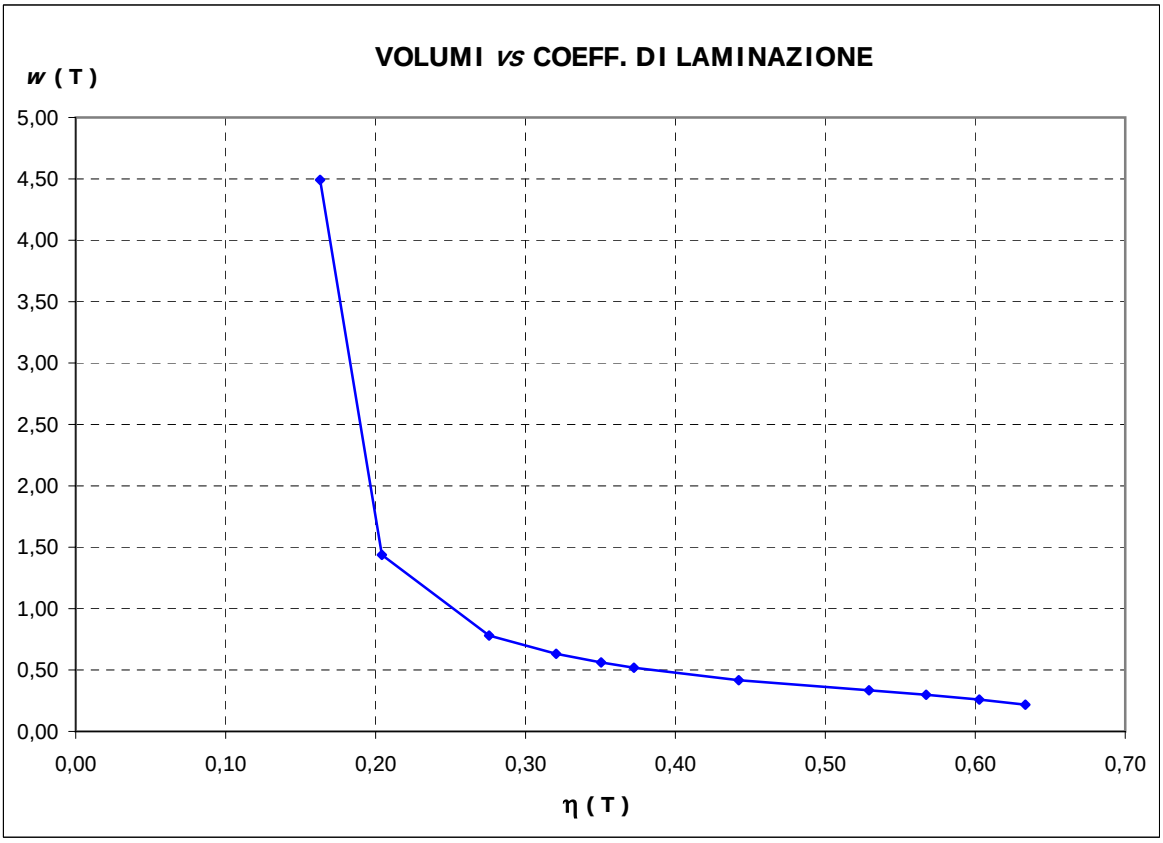

CURVA DI POSSIBILITA' DI LAMINAZIONE
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE η (T)
η (T)
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]


DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' CUMULATA
portata
[m³/s]
250,0
200,0
150,0
100,0
50,0
0,0
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T
[ore]
DPC - in entrata
DPC - in uscita


CARICO SULLA SOGLIA H (T)
H (T)
[m]
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
200
400
600
800
1000
periodo di ritorno T [anni]


LIVELLO INVASO ADIMENSIONALIZZATO
h (T)
2,60
2,40
2,20
2,00
1,80
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
0,90
1,00
η (T)


VOLUME ADIMENSIONALIZZATO DI LAMINAZIONE w (T)
w (T)
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0
200
400
600
800
1000
1200
periodo di ritorno T [anni]


VOLUMI vs COEFF. DI LAMINAZIONE
w (T)
5,00
4,50
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
η (T)

ALLEGATO E

COEFFICIENTE
DI LAMINAZIONE
A VALLE
DEGLI INVASI

BACINO:	Sabbione (diga)	Morasco (diga) ingresso	Morasco (diga) uscita	Toce a Riale pre-Roni	Val Toggia (diga)	Roni a Riale	Toce a Riale post-Roni	Toce a Valdo pre Vannino	Obersee (diga)	Vannino (diga) ingresso	Vannino (diga) uscita	F.Vannino a Valdo confl. Toce	Toce a Valdo post Vannino
area totale del bacino **A** [km²]:	14,37	35,26	35,26	38,81	10,32	16,48	55,29	80,21	2,63	11,94	11,94	21,29	101,51
celerità media di propagazione [m / s]: **C =**	1,61	1,58	1,58	1,57	1,55	1,55	1,57	1,56	1,65	1,65	1,65	1,61	1,57
tempo di ritardo [ore] t_r =	0,818	1,305	1,305	1,378	0,720	0,909	1,644	1,993	0,341	0,727	0,727	0,995	2,228
coefficiente di afflusso **C*** =	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
PLUVIOMETRIA - MEDIA MAX ANNUALE DELL'INTENSITÀ DI PIOGGIA													
- durate comprese tra 1 e 24 ore :													
parametro **" a "** [mm / ora]:	22,5	22,5	22,5	23,9	23,9	23,9	23,2	23,4	22,8	22,8	22,8	22,8	23,2
esponente **" n "** :	0,46	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45	0,47	0,47	0,47	0,47	0,45
$\mu[I(t_r)]_{1-24} = a \cdot t_r^{n-1}$ = [mm / ora]	25,09	19,49	19,49	19,97	28,74	25,21	17,65	16,01	40,31	26,99	26,99	22,86	14,93
- durate inferiori ad 1 ora :													
parametro **" β "** :	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,47	0,47	0,47	0,47	0,48
parametro **" d_c "** [ore]:	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
media max annuale intensità di pioggia per d -> 0 : $\mu(I_0)$ =	89,65	89,65	89,65	89,65	92,66	92,66	91,16	91,78	89,85	89,85	89,85	89,85	91,29
$\mu[I(t_r)]_{<1} = \mu(I_0) / [(1+ t_r / dc)^{\beta}]$ =	24,73	20,01	20,01	19,52	26,37	23,70	17,69	16,25	36,78	26,80	26,80	23,35	15,90
FATTORE DI RIDUZIONE AREALE													
espressione utilizzata : $K_A = 1 - f_1 (A) \cdot f_2 (t_r)$													
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A)$													
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3})$													
costante **"c_1"** :	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
costante **"c_2"** :	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335
costante **"c_3"** :	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A)$ =	0,0531	0,1254	0,1254	0,1371	0,0385	0,0607	0,1895	0,2627	0,0099	0,0444	0,0444	0,0777	0,3201
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3})$ =	0,6053	0,5609	0,5609	0,5556	0,6169	0,5955	0,5379	0,5183	0,6801	0,6160	0,6160	0,5870	0,5068
fattore di riduzione areale (ARF) K_A :	0,9678	0,9297	0,9297	0,9238	0,9763	0,9639	0,8981	0,8638	0,9932	0,9727	0,9727	0,9544	0,8378
MEDIA AREALE INTENSITÀ DI PIOGGIA													
tempo di ritardo t_r =	0,818	1,305	1,305	1,378	0,720	0,909	1,644	1,993	0,341	0,727	0,727	0,995	2,228
$\mu[I(t_r)]$ =	24,73	19,49	19,49	19,97	26,37	23,70	17,65	16,01	36,78	26,80	26,80	23,35	14,93
$\mu[I(A,t_r)] = K_A \cdot \mu[I(t_r)]$ =	23,94	18,12	18,12	18,45	25,75	22,85	15,85	13,83	36,53	26,07	26,07	22,29	12,51
PORTATA AL COLMO NATURALE													
portata indice (media) **μ (Q)** =	22,93	42,59	42,59	47,74	17,71	25,10	58,42	73,96	6,41	20,75	20,75	31,63	84,66
fattore di crescita K(T=200 anni): **KT** =	8,98	7,41	7,41	7,22	4,73	4,73	6,46	5,92	6,87	6,87	6,87	5,98	5,87
portata al colmo naturale Q_T =	205,94	315,57	315,57	344,69	83,79	118,72	377,37	437,84	44,01	142,54	142,54	189,15	496,94
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE													
coeff. Laminazione della diga **η (T=200)** =	0,123	0	0,653	0	0,260	0	0	0	0,351	0	0,604	0	0
portata al colmo in uscita $Q_{u,T}$ =	25,330	0	205,973	0	21,755	0	0	0	15,45	0	86,095	0	0
PORTATA IN ARRIVO DA SEZIONI PRECEDENTI													
portata al colmo naturale da sezioni precedenti $Q_{e,S.,m.}$ =	0	205,94	0	315,57	0	83,79	463,42	377,37	0	44,01	0	142,54	626,99
portata in uscita da sezioni precedenti $Q_{u,S.,m.}$ =	0	25,33	0	205,97	0	21,75	291,79	205,74	0	15,45	0	86,09	398,92
portata in entrata alla sezione considerata Q_e =	205,94	134,96	315,57	235,10	83,79	56,69	205,74	266,21	44,01	113,98	142,54	132,70	268,86
portata in uscita (se serbatoio) alla sezione considerata Q_u =	25,33	0	205,97	0	21,75	0	0	0	15,45	0	86,09	0	0
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE ALLA SEZIONE													
coeff. Laminazione nuovo **η (T=200)** =	0,123	0,428	0,653	0,682	0,260	0,478	0,630	0,681	0,351	0,800	0,604	0,702	0,687

BACINO:	Toce a Rivasco pre Vova	Busin Inferiroe (diga)	Vova a Rivasco confl. Toce	Toce a Rivasco post Vova	Toce a Cadarese	Toce a Verampio pre Devero	Devero (diga)	Devero a PonteOsso pre Agaro	Agaro (diga)	Agaro a PonteOsso confl. Devero	Devero a PonteOsso post Agaro	Devero a Verampio confl Toce	Toce a Verampio post Devero
area totale del bacino **A** [km²]:	139,58	2,54	19,48	152,94	175,54	202,53	25,38	82,36	10,98	12,58	94,94	109,28	311,82
celerità media di propagazione [m / s]: **C =**	1,56	1,55	1,55	1,56	1,56	1,56	2,02	2,09	2,07	2,07	2,09	2,08	1,74
tempo di ritardo [ore] t_r =	2,630	0,357	0,989	2,753	2,949	3,168	0,866	1,508	0,556	0,595	1,619	1,745	3,524
coefficiente di afflusso **C*** =	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
PLUVIOMETRIA - MEDIA MAX ANNUALE DELL'INTENSITÀ DI PIOGGIA													
- durate comprese tra 1 e 24 ore :													
parametro **" a "** [mm / ora]:	24,00	24	24	24	23,9	23,8	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	23,3
esponente **" n "** :	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,48
$\mu[I(t_r)]_{1-24} = a \cdot t_r^{n-1}$ = [mm / ora]	14,24	41,86	24,15	13,89	13,33	12,92	24,04	18,32	29,87	28,89	17,69	17,05	12,10
- durate inferiori ad 1 ora :													
parametro **" β "** :	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,47
parametro **" d_c "** [ore]:	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06
media max annuale intensità di pioggia per d -> 0 : $\mu(I_0)$ =	91,87	91,87	91,87	91,87	91,61	91,46	84,29	84,29	84,29	84,29	84,29	84,29	89,07
$\mu[I(t_r)]_{<1} = \mu(I_0) / [(1+ t_r / dc)^{\beta}]$ =	14,81	36,23	23,27	14,49	13,99	13,50	22,78	17,93	27,43	26,67	17,39	16,83	13,03
FATTORE DI RIDUZIONE AREALE													
espressione utilizzata : $K_A = 1 - f_1 (A) \cdot f_2 (t_r)$													
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A)$													
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3})$													
costante **"c_1"** :	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
costante **"c_2"** :	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335
costante **"c_3"** :	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A)$ =	0,4116	0,0096	0,0714	0,4408	0,4868	0,5368	0,0919	0,2687	0,0409	0,0467	0,3029	0,3398	0,6942
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3})$ =	0,4895	0,6765	0,5876	0,4846	0,4773	0,4696	0,6000	0,5466	0,6397	0,6338	0,5395	0,5319	0,4582
fattore di riduzione areale (ARF) K_A :	0,7985	0,9935	0,9581	0,7864	0,7677	0,7479	0,9448	0,8531	0,9739	0,9704	0,8366	0,8192	0,6819
MEDIA AREALE INTENSITÀ DI PIOGGIA													
tempo di ritardo t_r =	2,630	0,357	0,989	2,753	2,949	3,168	0,866	1,508	0,556	0,595	1,619	1,745	3,524
$\mu[I(t_r)]$ =	14,24	36,23	23,27	13,89	13,33	12,92	22,78	18,32	27,43	26,67	17,69	17,05	12,10
$\mu[I(A,t_r)] = K_A \cdot \mu[I(t_r)]$ =	11,37	35,99	22,29	10,92	10,23	9,66	21,52	15,63	26,71	25,88	14,80	13,97	8,25
PORTATA AL COLMO NATURALE													
portata indice (media) μ **(Q)** =	105,80	6,09	28,95	111,38	119,74	130,45	36,41	85,80	19,56	21,71	93,67	101,77	171,58
fattore di crescita K(T=200 anni): **KT** =	5,37	5,33	5,33	5,33	5,16	4,97	5,23	5,23	5,02	5,02	5,13	5,02	4,82
portata al colmo naturale Q_T =	568,15	32,48	154,31	593,68	617,85	648,32	190,43	448,74	98,17	108,96	480,55	510,88	827,01
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE													
coeff. Laminazione della diga η **(T=200)** =	0	0,145	0	0	0	0	0,459	0	0,453	0	0	0	0
portata al colmo in uscita $Q_{u,T}$ =	0	4,70	0	0	0	0	87,47	0	44,42	0	0	0	0
PORTATA IN ARRIVO DA SEZIONI PRECEDENTI													
portata al colmo naturale da sezioni precedenti $Q_{e,S.,m.}$ =	496,94	0	32,48	722,46	593,68	617,85	0	190,43	0	98,17	557,71	480,55	1159,19
portata in uscita da sezioni precedenti $Q_{u,S.,m.}$ =	268,86	0	4,70	466,60	337,82	361,99	0	87,47	0	44,42	401,01	323,85	746,63
portata in entrata alla sezione considerata Q_e =	340,07	32,48	126,52	337,82	361,99	392,45	190,43	345,79	98,17	55,22	323,85	354,18	414,45
portata in uscita (se serbatoio) alla sezione considerata Q_u =	0	4,70	0	0	0	0	87,47	0	44,42	0	0	0	0
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE ALLA SEZIONE													
coeff. Laminazione nuovo η **(T=200)** =	0,726	0,145	0,820	0,746	0,756	0,768	0,459	0,771	0,453	0,507	0,719	0,736	0,754

BACINO:	Toce a Preglia pre Diveria	Lago d'Avino (diga)	Cairasco a Bertonio confl Diveria	Diveria a Bertonio pre Cairasco	Diveria a Bertonio post Cairasco	Diveria a Preglia confl. Toce	Alpe Larecchio (diga)	Tomello confl. Isorno	Isorno confl pre Tomello	Isorno confl. post Tomello	Agrasina (diga) ingresso	Agrasina (diga) uscita	Isorno a Preglia confl. Toce
area totale del bacino **A** [km²]:	371,36	5,32	78,25	204,87	283,12	320,68	3,02	5,72	8,80	14,52	17,83	17,83	71,93
celerità media di propagazione [m / s]: **C =**	1,79	1,61	1,90	2,05	2,01	2,02	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,32
tempo di ritardo [ore] t_r =	3,738	0,497	1,617	2,424	2,907	3,078	0,464	0,639	0,792	1,018	1,128	1,128	2,231
coefficiente di afflusso **C*** =	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
PLUVIOMETRIA - MEDIA MAX ANNUALE DELL'INTENSITÀ DI PIOGGIA													
- durate comprese tra 1 e 24 ore :													
parametro **" a "** [mm / ora]:	23,4	21,5	21,5	20,2	20,6	20,9	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4
esponente **" n "** :	0,49	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
$\mu[I(t_r)]_{1-24} = a \cdot t_r^{n-1}$ = [mm / ora]	11,94	29,64	17,24	13,56	12,74	12,60	43,15	36,78	33,03	29,14	27,68	27,68	19,68
- durate inferiori ad 1 ora :													
parametro **" β "** :	0,47	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
parametro **" d_c "** [ore]:	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
media max annuale intensità di pioggia per d -> 0 : $\mu(I_0)$ =	88,99	79,00	79,00	72,02	73,92	74,97	93,43	93,43	93,43	93,43	93,43	93,43	93,43
$\mu[I(t_r)]_{<1} = \mu(I_0) / [(1+ t_r / dc)^{\beta}]$ =	12,67	25,85	15,93	12,24	11,64	11,52	34,52	30,05	27,30	24,36	23,24	23,24	16,88
FATTORE DI RIDUZIONE AREALE													
espressione utilizzata : $K_A = 1 - f_1 (A) \cdot f_2 (t_r)$													
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A)$													
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3})$													
costante **"c_1"** :	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
costante **"c_2"** :	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335
costante **"c_3"** :	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A)$ =	0,7561	0,0200	0,2572	0,5409	0,6590	0,7044	0,0114	0,0215	0,0329	0,0537	0,0655	0,0655	0,2392
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3})$ =	0,4518	0,6492	0,5397	0,4980	0,4788	0,4727	0,6550	0,6275	0,6082	0,5849	0,5751	0,5751	0,5067
fattore di riduzione areale (ARF) K_A :	0,6584	0,9870	0,8612	0,7306	0,6845	0,6671	0,9925	0,9865	0,9800	0,9686	0,9623	0,9623	0,8788
MEDIA AREALE INTENSITÀ DI PIOGGIA													
tempo di ritardo t_r =	3,738	0,497	1,617	2,424	2,907	3,078	0,464	0,639	0,792	1,018	1,128	1,128	2,231
$\mu[I(t_r)]$ =	11,94	25,85	17,24	13,56	12,74	12,60	34,52	30,05	27,30	29,14	27,68	27,68	19,68
$\mu[I(A,t_r)] = K_A \cdot \mu[I(t_r)]$ =	7,86	25,51	14,85	9,91	8,72	8,41	34,26	29,64	26,75	28,23	26,64	26,64	17,30
PORTATA AL COLMO NATURALE													
portata indice (media) **μ (Q)** =	194,69	9,05	77,44	135,32	164,65	179,70	6,90	11,30	15,69	27,32	31,67	31,67	82,95
fattore di crescita K(T=200 anni): **KT** =	4,63	5,32	6,32	5,78	5,49	5,34	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74
portata al colmo naturale Q_T =	901,43	48,14	489,43	782,16	903,93	959,61	25,80	42,28	58,69	102,19	118,44	118,44	310,24
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE													
coeff. Laminazione della diga **η (T=200)** =	0	0,466	0	0	0	0	0,394	0	0	0	0	0,976	0
portata al colmo in uscita $Q_{u,T}$ =	0	22,42	0	0	0	0	10,16	0	0	0	0	115,53	0
PORTATA IN ARRIVO DA SEZIONI PRECEDENTI													
portata al colmo naturale da sezioni precedenti $Q_{e,S.,m.}$ =	827,01	0	48	0	1272	904	0	25,80	0	42,28	102,19	0	118,44
portata in uscita da sezioni precedenti $Q_{u,S.,m.}$ =	414,45	0	22	0	1246	878	0	10,16	0	26,64	86,55	0	115,53
portata in entrata alla sezione considerata Q_e =	488,87	48,14	463,71	782,16	878,21	933,89	25,80	26,64	58,69	86,55	102,79	118,44	307,34
portata in uscita (se serbatoio) alla sezione considerata Q_u =	0	22,42	0	0	0	0	10,16	0	0	0	0	115,53	0
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE ALLA SEZIONE													
coeff. Laminazione nuovo **η (T=200)** =	0,774	0,466	0,947	1,000	0,980	0,981	0,394	0,630	1,000	0,835	0,858	0,976	0,991

BACINO:	Toce a Preglia post Isorno	Toce a Domodossola pre Melezzo	Melezzo a Domodossola confl. Toce	Toce a Domodossola post Melezzo	Toce a Villadossola pre Ovesca	Cingino (diga)	Troncone immissione in Camplicciolì	Camposecco (diga)	Bonella immissione in Camplicciolì	Camplicciolì (diga) ingresso	Camplicciolì (diga) uscita	Antrona (diga) ingresso	Antrona (diga) uscita
area totale del bacino **A** [km²]:	764,71	770,29	57,17	921,37	974,25	3,06	19,00	4,08	8,57	35,19	35,19	42,67	42,67
celerità media di propagazione [m / s]: **C =**	1,84	1,84	1,85	1,96	1,94	1,41	1,41	1,41	1,41	1,47	1,47	1,47	1,47
tempo di ritardo [ore] t_r =	5,218	5,237	1,419	5,377	5,587	0,431	1,073	0,497	0,721	1,401	1,401	1,543	1,543
coefficiente di afflusso **C*** =	0,24	0,24	0,61	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
PLUVIOMETRIA - MEDIA MAX ANNUALE DELL'INTENSITÀ DI PIOGGIA													
- durate comprese tra 1 e 24 ore :													
parametro **" a "** [mm / ora]:	23,0	23,1	31,9	23,9	24,3	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	21,30	21,3
esponente **" n "** :	0,51	0,51	0,51	0,52	0,52	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
$\mu[I(t_r)]_{1-24} = a \cdot t_r^{n-1}$ = [mm / ora]	10,24	10,26	26,87	10,66	10,64	29,55	19,77	27,74	23,56	17,59	17,59	17,60	17,60
- durate inferiori ad 1 ora :													
parametro **" β "** :	0,46	0,46	0,49	0,46	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
parametro **" d_c "** [ore]:	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
media max annuale intensità di pioggia per d -> 0 : $\mu(I_0)$ =	83,65	83,74	93,37	84,14	84,47	65,79	65,79	65,79	65,79	65,79	65,79	67,04	67,04
$\mu[I(t_r)]_{<1} = \mu(I_0) / [(1+ t_r / dc)^{\beta}]$ =	9,82	9,81	20,87	9,74	9,61	28,57	19,80	27,03	23,33	17,69	17,69	17,30	17,30
FATTORE DI RIDUZIONE AREALE													
espressione utilizzata : $K_A = 1 - f_1 (A) \cdot f_2 (t_r)$													
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A)$													
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3})$													
costante **"c_1"** :	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
costante **"c_2"** :	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335
costante **"c_3"** :	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A)$ =	0,9453	0,9464	0,1953	0,9698	0,9753	0,0116	0,0697	0,0154	0,0320	0,1252	0,1252	0,1497	0,1497
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3})$ =	0,4153	0,4149	0,5527	0,4120	0,4077	0,6612	0,5798	0,6492	0,6168	0,5539	0,5539	0,5443	0,5443
fattore di riduzione areale (ARF) K_A :	0,6074	0,6073	0,8921	0,6005	0,6023	0,9924	0,9596	0,9900	0,9802	0,9307	0,9307	0,9185	0,9185
MEDIA AREALE INTENSITÀ DI PIOGGIA													
tempo di ritardo t_r =	5,218	5,237	1,419	5,377	5,587	0,431	1,073	0,497	0,721	1,401	1,401	1,543	1,543
$\mu[I(t_r)]$ =	10,24	10,26	26,87	10,66	10,64	28,57	19,77	27,03	23,33	17,59	17,59	17,60	17,60
$\mu[I(A,t_r)] = K_A \cdot \mu[I(t_r)]$ =	6,22	6,23	23,97	6,40	6,41	28,35	18,98	26,76	22,87	16,37	16,37	16,17	16,17
PORTATA AL COLMO NATURALE													
portata indice (media) μ **(Q)** =	316,99	320,07	232,22	393,15	416,27	5,78	24,04	7,28	13,07	38,40	38,40	45,99	45,99
fattore di crescita K(T=200 anni): **KT** =	4,43	4,42	3,86	4,26	4,20	6,03	6,03	6,03	6,03	6,03	6,03	5,82	5,82
portata al colmo naturale Q_T =	1404,27	1414,71	896,37	1674,81	1748,35	34,87	144,93	43,89	78,79	231,53	231,53	267,64	267,64
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE													
coeff. Laminazione della diga η **(T=200)** =	0	0	0	0	0	0,748	0	0,719	0	0	0,761	0	0,840
portata al colmo in uscita $Q_{u,T}$ =	0	0	0	0	0	26,07	0	31,54	0	0	176,15	0	224,82
PORTATA IN ARRIVO DA SEZIONI PRECEDENTI													
portata al colmo naturale da sezioni precedenti $Q_{e,S.,m.}$ =	2171,28	1404	0	1415	1675	0	34,87	0	43,89	224	0	231,53	0
portata in uscita da sezioni precedenti $Q_{u,S.,m.}$ =	1730,10	963	0	974	1234	0	26,07	0	31,54	203	0	176,15	0
portata in entrata alla sezione considerata Q_e =	963,09	973,53	896,37	1233,63	1307,17	34,87	136,14	43,89	66,44	210,38	231,53	212,26	267,64
portata in uscita (se serbatoio) alla sezione considerata Q_u =	0	0	0	0	0	26,07	0	31,54	0	0,00	176,15	0	224,82
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE ALLA SEZIONE													
coeff. Laminazione nuovo η **(T=200)** =	0,896	0,897	1,000	0,937	0,940	0,748	0,939	0,719	0,843	0,909	0,761	0,793	0,840

BACINO:	Troncone a Rovesca confl. Ovesca	Alpe Cavalli (diga)	Loranco a Rovesca confl. Ovesca	Ovesca a Rovesca	Ovesca a Villadossola confl. Toce	Toce a Villadossola post Ovesca	Toce a PieveVergonte pre Anza	Quarazza (diga)	Quarazza a Fornalei pre Anza	Anza a Fornalei pre Quarazza	Anza a Fornalei post Quarazza	Ceppo Morelli (diga) ingresso	Ceppo Morelli (diga) uscita
area totale del bacino **A** [km²]:	50,23	23,74	33,75	83,98	151,03	1125,28	1150,93	25,81	26,69	57,07	83,76	121,00	121,00
celerità media di propagazione [m / s]: **C =**	1,47	1,35	1,37	1,42	1,43	1,87	1,87	1,76	1,76	1,80	1,82	1,82	1,82
tempo di ritardo [ore] t_r =	1,674	1,253	1,472	2,241	2,984	6,229	6,299	1,002	1,019	1,457	1,746	2,099	2,099
coefficiente di afflusso **C*** =	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
PLUVIOMETRIA - MEDIA MAX ANNUALE DELL'INTENSITÀ DI PIOGGIA													
- durate comprese tra 1 e 24 ore :													
parametro **" a "** [mm / ora]:	21,3	21,3	21,3	21,3	23,4	24,2	24,3	21,7	21,7	19,8	19,8	20,6	20,6
esponente **" n "** :	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,52	0,52	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56
$\mu[I(t_r)]_{1-24} = a \cdot t_r^{n-1}$ = [mm / ora]	16,98	19,29	17,97	14,93	14,46	10,06	10,04	21,68	21,51	16,71	15,41	14,87	14,87
- durate inferiori ad 1 ora :													
parametro **" β "** :	0,45	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45	0,46	0,46
parametro **" d_c "** [ore]:	0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09
media max annuale intensità di pioggia per d -> 0 : $\mu(I_0)$ =	67,04	68,71	68,71	67,59	71,91	82,76	82,86	62,23	62,23	60,32	60,32	62,08	62,08
$\mu[I(t_r)]_{<1} = \mu(I_0) / [(1+ t_r / dc)^{\beta}]$ =	16,71	17,67	16,51	14,01	13,15	9,74	9,70	20,63	20,49	16,77	15,53	14,30	14,30
FATTORE DI RIDUZIONE AREALE													
espressione utilizzata : $K_A = 1 - f_1 (A) \cdot f_2 (t_r)$													
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A)$													
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3})$													
costante **"c_1"** :	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
costante **"c_2"** :	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335
costante **"c_3"** :	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A)$ =	0,1738	0,0863	0,1204	0,2732	0,4367	0,9861	0,9874	0,0934	0,0964	0,1950	0,2726	0,3686	0,3686
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3})$ =	0,5361	0,5649	0,5490	0,5062	0,4760	0,3957	0,3945	0,5863	0,5847	0,5500	0,5319	0,5130	0,5130
fattore di riduzione areale (ARF) K_A :	0,9068	0,9513	0,9339	0,8617	0,7921	0,6098	0,6105	0,9452	0,9436	0,8928	0,8550	0,8109	0,8109
MEDIA AREALE INTENSITÀ DI PIOGGIA													
tempo di ritardo t_r =	1,674	1,253	1,472	2,241	2,984	6,229	6,299	1,002	1,019	1,457	1,746	2,099	2,099
$\mu[I(t_r)]$ =	16,98	19,29	17,97	14,93	14,46	10,06	10,04	21,68	21,51	16,71	15,41	14,87	14,87
$\mu[I(A,t_r)] = K_A \cdot \mu[I(t_r)]$ =	15,40	18,35	16,78	12,87	11,46	6,13	6,13	20,49	20,30	14,92	13,17	12,06	12,06
PORTATA AL COLMO NATURALE													
portata indice (media) μ **(Q)** =	51,56	29,04	37,75	72,05	115,36	460,11	470,55	35,26	36,12	56,77	73,56	97,25	97,25
fattore di crescita K(T=200 anni): **KT** =	5,63	6,15	6,15	5,62	5,25	4,17	4,15	6,19	6,19	6,83	6,83	6,34	6,34
portata al colmo naturale Q_T =	290,29	178,58	232,18	404,92	605,66	1918,65	1952,77	218,24	223,60	387,75	502,43	616,55	616,55
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE													
coeff. Laminazione della diga η **(T=200)** =	0	0,655	0	0	0	0	0	0,975	0	0	0	0	0,997
portata al colmo in uscita $Q_{u,T}$ =	0	116,99	0	0	0	0	0	212,73	0	0	0	0	614,82
PORTATA IN ARRIVO DA SEZIONI PRECEDENTI													
portata al colmo naturale da sezioni precedenti $Q_{e,S.,m.}$ =	267,64	0	178,58	522,46	404,92	2354,01	1918,65	0	218,24	0,00	223,60	502,43	0
portata in uscita da sezioni precedenti $Q_{u,S.,m.}$ =	224,82	0	116,99	418,05	300,51	1808,42	1373,06	0	212,73	0,00	218,10	496,92	0
portata in entrata alla sezione considerata Q_e =	247,47	178,58	170,59	300,51	501,25	1373,06	1407,18	218,24	218,10	387,75	496,92	611,04	616,55
portata in uscita (se serbatoio) alla sezione considerata Q_u =	0	116,99	0	0	0	0	0	212,73	0	0	0	0	614,82
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE ALLA SEZIONE													
coeff. Laminazione nuovo η **(T=200)** =	0,852	0,655	0,735	0,800	0,866	0,921	0,922	0,975	0,975	1,000	0,991	0,993	0,997

BACINO:	Anza a PieveVergonte confl. Toce	Toce a PieveVergonte post Anza	Toce Candoglia	Toce a Gravellona pre Strona
area totale del bacino **A** [km²]:	257,02	1407,95	1530,02	1547,32
celerità media di propagazione [m / s]: **C =**	1,83	1,86	1,85	1,83
tempo di ritardo [ore] t_r **=**	3,042	7,005	7,341	7,464
coefficiente di afflusso **C*** =	0,24	0,24	0,24	0,24
PLUVIOMETRIA - MEDIA MAX ANNUALE DELL'INTENSITÀ DI PIOGGIA				
- durate comprese tra 1 e 24 ore :				
parametro **" a "** [mm / ora]:	25,5	24,5	25,8	26,1
esponente **" n "** :	0,55	0,53	0,53	0,53
$\mu[I(t_r)]_{1-24} = a \cdot t_r^{n-1} =$ [mm / ora]	15,46	9,81	10,11	10,15
- durate inferiori ad 1 ora :				
parametro **" β "** :	0,46	0,46	0,46	0,46
parametro **" d_c "** [ore]:	0,09	0,06	0,07	0,07
media max annuale intensità di pioggia per d -> 0 : $\mu(I_0) =$	71,34	80,76	81,94	82,28
$\mu[I(t_r)]_{<1} = \mu(I_0) / [(1+ t_r / dc)^{\beta}] =$	13,94	9,01	9,60	9,56
FATTORE DI RIDUZIONE AREALE				
espressione utilizzata : $K_A = 1 - f_1 (A) \cdot f_2 (t_r)$				
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A)$				
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3})$				
costante **"c_1"** :	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
costante **"c_2"** :	0,5335	0,5335	0,5335	0,5335
costante **"c_3"** :	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021
$f_1 (A) = 1-\exp (-c_1 \cdot A) =$	0,6234	0,9953	0,9970	0,9972
$f_2 (t_r) = \exp (-c_2 \cdot t_r^{c3}) =$	0,4740	0,3827	0,3775	0,3756
fattore di riduzione areale (ARF) K_A :	0,7045	0,6191	0,6237	0,6254
MEDIA AREALE INTENSITÀ DI PIOGGIA				
tempo di ritardo t_r **=**	3,042	7,005	7,341	7,464
$\mu[I(t_r)] =$	15,46	9,81	10,11	10,15
$\mu[I(A,t_r)] = K_A \cdot \mu[I(t_r)] =$	10,89	6,08	6,30	6,35
PORTATA AL COLMO NATURALE				
portata indice (media) μ **(Q) =**	186,59	570,32	643,07	654,66
fattore di crescita K(T=200 anni): **KT =**	5,48	4,12	4,04	4,03
portata al colmo naturale Q_T **=**	1022,51	2349,72	2598,01	2638,29
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE				
coeff. Laminazione della diga η **(T=200) =**	0	0	0	0
portata al colmo in uscita $Q_{u,T}$ **=**	0	0	0	0
PORTATA IN ARRIVO DA SEZIONI PRECEDENTI				
portata al colmo naturale da sezioni precedenti $Q_{e,S.,m.}$ **=**	616,55	2975,28	2350	2598
portata in uscita da sezioni precedenti $Q_{u,S.,m.}$ **=**	614,82	2427,96	1802	2051
portata in entrata alla sezione considerata Q_e **=**	1020,78	1802,39	2050,69	2090,97
portata in uscita (se serbatoio) alla sezione considerata Q_u **=**	0	0		
COEFFICIENTE DI LAMINAZIONE ALLA SEZIONE				
coeff. Laminazione nuovo η **(T=200) =**	0,998	0,948	0,953	0,954