

Cliente	Ricerca di sistema
Oggetto	Studio di prefattibilità di una interconnessione idrica tra nord e sud Italia mirante alla protezione idrogeologica ed alla mitigazione delle siccità: Sviluppo dell'indagine
Ordine	L17946G
Note	SISSET/SITER/Workpackage 4/Milestone 4.2 Rapporto 1/1 della milestone.

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

N. pagine	77	N. pagine fuori testo
Data	15/12/2004	
Elaborato	Consulente: Michele Fanelli Consulente: Pietro Picozzi FAS/ING/INI – Giuseppe Dassiè FAS/ING/INI – Renato Cadei	
Verificato	FAS/STA/PRI – Luciano Nigro	
Approvato	FAS/ING/INI – Guido Mazzà	

Indice

SOMMARIO	4
1 PREMESSA	5
2 DESCRIZIONE QUALITATIVA DELL'OPERA OGGETTO DELLA PRESENTE PROPOSTA DI STUDIO	7
3 FUNZIONI ATTRIBUITE ALL'OPERA	9
4 STATO DELL'ARTE	11
4.1 INTERCONNESSIONI IDRICHE NEL MONDO. LE ESPERIENZE LIBICHE E CINESI	12
4.1.1 <i>Il Great Man-made River Project ("GMRP")</i>	12
4.1.2 <i>Il South-to-North Water Transfers in Cina</i>	13
4.1.3 <i>L'interconnessione idrica tra nord e sud in Italia</i>	15
4.1.4 <i>La raccolta di dati idrologici, geologici e territoriali</i>	15
5 RICERCA DI PREFATTIBILITÀ	16
5.1 RACCOLTA DI DATI IDROLOGICI, GEOLOGICI E TERRITORIALI	16
5.1.1 <i>Cartografia</i>	16
5.1.2 <i>Dati idrologici e pluviometrici</i>	17
5.1.3 <i>Tavola "Stazioni.apr"</i>	17
5.1.4 <i>Carenze delle fonti e procedure adottate per superarle</i>	18
5.2 CENSIMENTO DEGLI INVASI ESISTENTI LUNGO IL PERCORSO DELL'INTERCONNESSIONE	18
5.2.1 <i>Tavola "Geoinvasi.apr"</i>	19
5.2.2 <i>Carenze delle fonti e procedure adottate per superarle</i>	20
5.3 DETERMINAZIONE DELLA TOPOLOGIA DELL'INTERCONNESSIONE E DELLE CARATTERISTICHE IDRAULICHE PRINCIPALI DELLE OPERE ACCESSORIE	21
5.3.1 <i>Scelta degli invasi già esistenti</i>	21
5.4 INDIVIDUAZIONE DELLE VALLATE IDONEE AD ACCOGLIERE NUOVI INVASI	21
5.4.1 <i>Nuovi Invasi: elaborazioni effettuate</i>	24
5.4.2 <i>Ricerca speditiva della sezione di sbarramento</i>	24
5.4.3 <i>Calcolo del volume approssimato della diga</i>	25
5.4.4 <i>Calcolo del volume approssimato del serbatoio</i>	25
5.4.5 <i>Procedura di calcolo</i>	26
5.4.6 <i>Esempio pratico</i>	28
5.4.7 <i>Serbatoi di compensazione</i>	30
5.4.8 <i>Generalità dell'interconnessione</i>	30
5.4.9 <i>Necessità di ulteriori elaborazioni</i>	32
5.5 VALUTAZIONE DEI COSTI DI REALIZZAZIONE	32
6 CONCLUSIONI	35
7 ALLEGATO: IL PROBLEMA DEI TRANSITORI IDRAULICI NEL SISTEMA	36
7.1 POSIZIONE QUALITATIVA DEL PROBLEMA: NECESSITÀ DI STUDIARE IL COMPORTAMENTO DINAMICO DEL SISTEMA. DIVERSI TIPI DI TRANSITORI (INPUT DA PIENE LOCALI, OUTPUT DA EMUNGIMENTI LOCALI...)	36
7.2 MODELLO MATEMATICO	37
7.3 SCHEMA DEL CIRCUITO IDRAULICO	37
7.4 LEGENDA DEI SIMBOLI UTILIZZATI	38
7.5 EQUAZIONI PER LE QUANTITÀ DI MOTO NELLE GALLERIE	38

7.6	EQUAZIONI DI CONTINUITÀ AI NODI DEL SISTEMA GALLERIA _{k-1} – SERBATOIO _k – GALLERIA _k	39
7.7	EQUAZIONI PER I LIVELLI NEI SERBATOI.....	39
7.8	RELAZIONI PER PORTATE AGLI SFIORATORI	39
7.9	INTEGRAZIONE NUMERICA.....	40
7.10	DATI SERBATOI	41
7.11	DATI GALLERIE	41
7.12	COMMENTI SUI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE.....	76
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....		77

SOMMARIO

Con riferimento al Rapporto 1/1 della Milestone 4.1 (CONNES1), dove si illustrano le linee essenziali di uno studio di prefattibilità per la progettazione di una interconnessione idrica interregionale ad alta (o media) quota, con serbatoi intermedi distribuiti lungo il suo percorso, avente il compito di compensare sia nello spazio che nel tempo gli eccessi ed i deficit delle precipitazioni regionali, nel presente rapporto sono individuati, descritti e sviluppati gli elementi essenziali dello studio.

Tali elementi sono:

- una breve rassegna delle esperienze similari a livello mondiale
- la raccolta di dati idrologici, geologici e territoriali
- il censimento degli invasi esistenti lungo il possibile percorso dell'interconnessione
- la topologia dell'interconnessione e le caratteristiche idrauliche principali delle opere accessorie
- l'ottimizzazione della soluzione
- la valutazione di tempi e costi di realizzazione

Lo studio potrà costituire la base per l'eventuale sviluppo di uno studio di fattibilità della interconnessione nell'ambito del quale elaborare in modo più rigoroso sia gli aspetti strettamente tecnici, sia quelli socio-economici e finanziari.

1 PREMESSA

In molti Paesi europei quali la Francia, la Gran Bretagna, la Germania, la Polonia, la Repubblica Ceca ed in particolare in Italia, si verificano da alcuni anni¹ ricorrenti e sempre più gravi crisi idriche ed idrogeologiche, collegate da una parte alla sempre maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi (comunemente attribuiti, a torto o a ragione, ai mutamenti climatici in atto), dall'altra all'esplosione demografica ed al conseguente esponenziale sviluppo sul territorio delle alterazioni che le attività antropiche (tra cui ci si limita a citare: deforestazione, sia per disboscamenti pianificati in vista di altre utilizzazioni del territorio, sia per incendi boschivi; urbanizzazione e conseguente impermeabilizzazione delle superfici di ruscellamento delle piogge; conseguente diminuzione delle capacità di assorbimento e ritenzione delle acque piovane da parte del suolo e maggior potere erosivo dello scorrimento delle acque superficiali...) apportano a quelle caratteristiche dell'ambiente naturale che influiscono sulla fase di scorrimento in superficie del ciclo delle acque meteoriche.

Tali gravi crisi, foriere non solo di perdite di vite umane, ma anche di danni dagli altissimi costi finanziari e sociali, impongono a tutte le società avanzate, in maniera sempre più stringente (ed in misura particolarmente accentuata nei Paesi come il nostro, dove ad un'alta densità di popolazione e di urbanizzazione si uniscono forti squilibri nelle disponibilità idriche tra le varie regioni), di riconsiderare la pianificazione delle infrastrutture di sfruttamento, gestione e regolazione del ciclo delle acque secondo un'ottica di larga scala e di ampio respiro sia spaziale che temporale, superando l'approccio localistico ed episodico sinora invalso. Un tale ampliamento dell'ottica con cui è opportuno affrontare la pianificazione delle infrastrutture si inserisce d'altra parte a pieno titolo nella tematica della pianificazione integrata delle risorse territoriali [2], che nei Paesi a sviluppo avanzato appare sempre più chiaramente come una necessità dettata sia dai vincoli economico-finanziari, sia dalle esigenze di un ordinato sviluppo socio-economico delle collettività. E' evidente infatti che, l'acqua essendo da una parte un bene primario a domanda rigida (e ad alto indice pro-capite di consumo nei Paesi industrializzati) e dall'altra una fonte di rischio, il governo delle acque naturali e la loro modulazione artificiale costituiscono parte essenziale della pianificazione in oggetto; ciò del resto si è sempre verificato, in epoche storiche, in tutte le società organizzate ed evolute. Per quanto attiene più in particolare all'Italia in un contesto attuale ed in un prevedibile futuro proiettato su scala non eccessivamente breve, si consideri che ogni anno ingenti somme (centinaia di milioni di Euro) devono essere distolte da impieghi produttivi per rimediare alle 'catastrofi naturali' legate agli eventi estremi del ciclo dell'acqua; a tali distrazioni è da aggiungere il mancato reddito per interruzioni della produzione (sia della produzione industriale e di servizi per inondazioni che della produzione agricola per siccità o per eccessiva piovosità), i mancati introiti delle finanze pubbliche nelle regioni colpite... E' lecito pertanto domandarsi perché piuttosto di intervenire tardivamente 'a valle' del danno non si consideri seriamente una politica volta ad investire preventivamente in infrastrutture dedicate per evitare (o almeno mitigare) 'a monte' queste ricorrenti crisi; e ciò non solo per motivi etici, ossia in un'ottica di salvaguardia delle popolazioni e del loro tessuto socio-ambientale, ma altresì dal punto di vista del mero tornaconto economico a media-lunga scadenza. Ovviamente l'effettivo tornaconto economico di simili operazioni andrebbe valutato con un'accurata analisi quantitativa costi/benefici.

Limitando nel seguito il discorso al caso che più ci interessa della penisola italiana, è ormai ipotizzato dalla maggior parte degli idrologi e climatologi che si stia radicando una tendenza del nostro clima ad evolvere verso una sempre maggior frequenza degli eventi estremi, con pesanti conseguenze economiche e sociali per danni da ricorrenti inondazioni e frane nel periodo autunnale (più di rado, ma anche in questo caso con frequenza crescente, per danni da siccità nel periodo estivo) al Nord, e da

¹ Nel caso dell'Italia si può con qualche arbitrio fissare la data di rottura del precedente equilibrio all'autunno 1994 con le gravi alluvioni nel Piemonte.

siccità (ma sempre più frequentemente anche per inondazioni e frane) al Sud. La mancata sistemazione idrogeologica del territorio, già auspicata da De Marchi (e pianificata nella proposta di riassetto idrogeologico del territorio elaborata negli anni dal 1966 al 1970 [1] dalla Commissione interministeriale da lui presieduta ed universalmente nota come 'Commissione De Marchi') dopo le catastrofiche alluvioni di Firenze e Venezia del Novembre 1966, assieme alla crescente inarrestabile inurbazione della popolazione agricola ed al conseguente abbandono delle campagne e delle zone collinari e montuose, hanno portato ad esasperare le conseguenze negative di tali mutamenti climatici. Giova ricordare che nelle conclusioni della relazione della Commissione citata si raccomandava la creazione di numerosi nuovi invasi e casse di espansione in pianura, opere tra le quali -ad esempio- di quelle previste per la protezione di Firenze, per la quale il rapporto della Commissione raccomandava la creazione di parecchi nuovi invasi sugli affluenti dell'Arno, a tutt'oggi, dopo più di 30 anni, solo la diga del Bilancino nel Mugello è stata realizzata ed è in grado di assolvere parzialmente a tali funzioni. I danni meramente economici dei disastri idrogeologici sopra richiamati (a parte le vittime, i disagi e le sofferenze delle popolazioni colpite) possono essere stimati ogni anno in centinaia di milioni, e talvolta miliardi, di Euro².

Allo scopo di immaginare ed avanzare proposte di soluzione ai gravi problemi ambientali e socioeconomici sopra citati (proposte che devono necessariamente basarsi su sviluppi tecnologici, non potendosi ragionevolmente avanzare ipotesi di arresto o regresso dello sviluppo socioeconomico del territorio), può essere istruttivo il confronto con le soluzioni trovate e collaudate dall'esperienza in un diverso comparto infrastrutturale nel quale da tempo nei Paesi industrializzati si è realizzato un efficiente governo spazio-temporale delle risorse: è il caso del sistema elettrico. In questa fondamentale infrastruttura di ogni società moderna gli squilibri locali nella produzione e nel consumo dell'energia elettrica vengono compensati dalla rete di interconnessione (e trasporto a lunga distanza) nazionale ad alta tensione, le cui funzioni sono integrate dall'esistenza di condensatori di rifasamento, serbatoi di accumulo, impianti di pompaggio, nonché dall'esistenza di collegamenti transfrontalieri con gli analoghi sistemi elettrici dei Paesi confinanti. Vi sono importanti ragioni fisiche, tecnologiche, storiche e culturali a giustificazione del fatto che sinora non si sia considerata la possibilità di realizzare una analoga infrastruttura di interconnessione e compenso per la altrettanto fondamentale risorsa 'acqua'; tuttavia, accantonando per il momento tali giustificazioni (oggi in linea di principio tecnicamente superabili), è indiscutibile che sarebbe fisicamente concepibile (sotto le riserve che si vedranno in seguito) affidare ad una interconnessione idrica interregionale ad 'alta' o media quota, con serbatoi intermedi distribuiti lungo il suo percorso, il compito di compensare sia nello spazio che nel tempo gli eccessi ed i deficit delle precipitazioni regionali; restano ovviamente da valutare i parametri di fattibilità tecnica ed economica di una tale opera, che vedrebbe comunque, con tutta evidenza, la necessità di lunghi tempi di realizzazione (10-20 anni?). Una infrastruttura di questo tipo non presenta infatti oggi insuperabili difficoltà realizzative, grazie ai mezzi offerti dalle tecniche costruttive più recenti, ed in prospettiva appare addirittura probabile che in un futuro più o meno prossimo soluzioni del genere appaiano come una necessità non eludibile nel nostro ed in altri Paesi; accenni all'opportunità di intraprendere anche per l'Italia studi di fattibilità di infrastrutture analoghe cominciano del resto ad apparire su riviste tecniche specializzate, in articoli che analizzano le problematiche legate alle irregolarità spazio-temporali del ciclo dell'acqua [3]. Appare dunque sensato cominciare a studiare i principali parametri tecnici ed economici inerenti a tale tipo di interconnessione, che si configurerebbe come un'opera di pubblica utilità da considerare -per quanto riguarda l'utilità e le necessità di finanziamento- in parallelo o in alternativa con altre iniziative mirate alla realizzazione di 'grandi opere'. E' appunto ad una valutazione preliminare di tal genere, necessaria premessa di ogni ulteriore più avanzato progetto o proposta, che si

² Il piano di realizzazione di nuovi serbatoi e casse di espansione elaborato dalla Commissione De Marchi avrebbe avuto un costo attorno ai 30.000 MLD di lire, ossia circa 15 MLD di €.

rivolge lo studio di cui nel presente rapporto si vuole descrivere l'iter di sviluppo ed i risultati conseguiti sino alla fine del corrente anno 2004, tenendo presente che con tutta probabilità sarà necessario proseguire e completare la ricerca anche nell'anno prossimo 2005.

2 DESCRIZIONE QUALITATIVA DELL'OPERA OGGETTO DELLA PRESENTE PROPOSTA DI STUDIO

Come anticipato, dal punto di vista puramente tecnico sarebbe concepibile progettare e realizzare un sistema di interconnessione idraulica tra le regioni del Nord, dove in media le precipitazioni sono sovrabbondanti (ancorché irregolari) e quelle del Sud, dove al contrario vi è mediamente un cronico deficit degli apporti annuali, tanto che alcune zone sono giudicate 'a rischio di desertificazione'. A puro titolo di esempio per avere un'idea degli ordini di grandezza in gioco, si ritiene che una catena di circa 40-50 invasi³ distribuiti abbastanza regolarmente lungo la dorsale appenninica (dalle Prealpi liguri alla Calabria), ad una quota presumibilmente non più bassa di 500 m.s.m. né più alta di 1000 m.s.m., ognuno con una capacità utile dell'ordine di 25-40 milioni di metri cubi in media, interconnessi da tunnel in pressione di una lunghezza media di 25-35 Km, potrebbe essere in grado di trasferire efficacemente una parte significativa del surplus medio degli apporti naturali del Nord non intercettabili dagli invasi già in essere (evitando che tale surplus defluisca sotto forma di piene incontrollate dei corsi d'acqua intercettati) verso le zone deficitarie, situate soprattutto nel Meridione.

I serbatoi del sistema andrebbero previsti collocati a quota uniforme (in particolare per la quota di max. invaso), secondo il principio dei vasi comunicanti. In questo modo infatti, purché i tempi di risposta dei collegamenti in galleria tra un serbatoio e l'altro non siano eccessivi, non solo si avrebbe un compenso tra gli apporti esuberanti di alcune regioni rispetto a quelli deficitari di altre, ma piene eventualmente eccedenti localmente le capacità di ritenzione di un invaso potrebbero trovare sfogo ed essere accumulate negli invasi collegati. In altre parole, i 'franchi' da tenere nei singoli serbatoi per la laminazione e l'accumulo delle piene potrebbero essere fortemente ridotti rispetto ai valori teoricamente necessari in assenza di interconnessione. Analogamente, la valutazione delle capacità necessarie a compensare le irregolarità temporali degli apporti potrebbe essere effettuata globalmente sul volume totale dei serbatoi e sulle necessità/deficit complessivi anziché sulle corrispondenti quantità locali, e tale valutazione fatta sui dati dell'anno medio soffrirebbe di assai minori incertezze statistiche (minori probabilità di eccedenza in un senso o nell'altro) di quanto accadrebbe per il singolo invaso isolato dagli altri. Le stesse considerazioni valgono ovviamente per il proporzionamento delle capacità di laminazione destinate al contenimento delle piene, ed a questo proposito si nota sin d'ora che i nuovi sbarramenti dovranno essere dotato di scarichi di superficie del tipo a soglia fissa, in quanto è noto che le massime portate di piena evacuate da tale tipo di scarichi sono sempre inferiori (per l'effetto di laminazione) alla massima portata di piena in arrivo al serbatoio. Più precisamente, le portate di piena scaricate dalle nuove dighe nei singoli alvei da sbarrare saranno inferiori ai valori naturali (che si verificherebbero in assenza degli sbarramenti) per un doppio ordine di motivi: perché i volumi di piena in arrivo al singolo serbatoio vengono accumulati in parte nei serbatoi vicini e per l'effetto di laminazione congiunto al fatto che gli scaricatori di piena siano a soglia fissa anziché muniti di paratoie a comando volontario. Naturalmente potrà verificarsi l'eventualità che dei volumi di piena in arrivo ad uno specifico invaso una parte venga scaricata attraverso gli sfioratori delle dighe di vallate vicine, comunque con valori di portata di colmo fortemente attenuati e diluiti nel tempo.

³ Un numero dell'ordine di quello delle dighe attualmente in costruzione (e in larga parte sospese) in Italia. Da notare che studi posteriori a quello della Commissione De Marchi avevano riconosciuto la necessità di realizzare in Italia, entro il 2015, ulteriori invasi per una capacità totale dell'ordine di 9 MLD di metri cubi; la capacità dei serbatoi qui presi in considerazione non coprirebbe dunque che una piccola frazione di tale fabbisogno stimato.

Inoltre il requisito delle quote uniformi consentirebbe di evitare la necessità di impianti di pompaggio (che sarebbero indispensabili nel caso di serbatoi a quote diversificate, v. le esperienze libiche e cinesi di cui più oltre) e permetterebbe di evitare di dover operare frequentemente le paratoie di ingresso e di uscita delle gallerie di connessione: tali paratoie sarebbero infatti necessarie solo come organi di isolamento da operare saltuariamente per la manutenzione straordinaria dei serbatoi e/o delle gallerie in pressione. (In ogni nodo galleria- serbatoio sarebbe comunque opportuno disporre un bypass che consenta di non sezionare il sistema pur nell'eventualità di dover isolare il serbatoio per operazioni di manutenzione: questa considerazione suggerisce altresì che la capacità di ogni singolo serbatoio e il relativo scaricatore di piena dovrebbero essere dimensionati per un evento di media entità nell'ipotesi di serbatoio isolato; si parla di un evento di media entità in quanto la coincidenza del verificarsi di un evento estremo con la circostanza che il serbatoio sia isolato appare a priori poco probabile, e quindi un dimensionamento più generoso degli organi di scarico rischierebbe di risultare antieconomico).

Un altro vantaggio derivante dall'essere il sistema interconnesso e situato a quote uniformi, secondo il modello dei vasi comunicanti, consiste nel fatto che se in una delle vallate da dotare di nuove dighe la situazione locale non consente la creazione di un serbatoio di capacità sufficiente a contenere le piene del corso d'acqua, le portate convogliate da dette piene potranno trovare sfogo, ed essere immagazzinate, riversandosi verso i serbatoi limitrofi (e via via sino a quelli più lontani) attraverso le gallerie di interconnessione, ovviamente purché la vallata in questione venga comunque sbarrata e vi si crei un vaso, ancorché di capacità ridotta.

Naturalmente la quota e la collocazione dei nuovi serbatoi andrebbero scelte in modo da ottimizzare le possibilità di eventuale connessione idraulica con alcuni degli invasi già esistenti nella fascia di territorio adiacente al percorso della nuova infrastruttura. (E' probabile che la topologia più opportuna da assegnare all'opera, tenuto conto dei possibili allacciamenti ad invasi esistenti e della necessità di adeguarsi all'orografia esistente lungo il percorso principale, rifletta la struttura 'ad albero' piuttosto che quella 'ad antenna'; andrà considerata anche l'eventuale opportunità di realizzare due percorsi paralleli, uno ad ovest e l'altro ad est della catena appenninica, ovviamente connessi idraulicamente tra loro).

Benefici aggiuntivi di una infrastruttura simile sarebbero la possibilità di produzione aggiuntiva di energia idroelettrica e la disponibilità, distribuita lungo il percorso, di riserve d'acqua per far fronte a necessità ed emergenze locali (irrigazione, interventi antincendio...), nonché le possibilità di incremento delle risorse economiche locali (turistiche, ricreative, di piscicoltura...).

3 FUNZIONI ATTRIBUITE ALL'OPERA

E' evidente che non è concepibile, non fosse altro per ragioni connesse all'inerzia dell'acqua, immaginare un'unica condotta estesa da Nord a Sud senza capacità di compenso intermedie. I nuovi serbatoi cui si è accennato avrebbero il duplice scopo di accumulare parte delle piene dei corsi d'acqua intercettati dagli sbarramenti che creano gli invasi in questione (evitando o mitigando notevolmente i rischi di inondazioni locali) e di dare al 'segnale' dei prelievi richiesti dalle regioni presso l'estremità meridionale il tempo necessario a mettere in moto, sino eventualmente all'estremo settentrionale, le masse d'acqua coinvolte senza creare eccessivi dislivelli o depressioni nelle canalizzazioni; essi funzionerebbero, cioè, anche come indispensabili capacità di rifasamento.

[La velocità apparente di propagazione del segnale generato da un prelievo può essere valutata grossolanamente 'spalmando' le capacità concentrate negli invasi lungo i tratti di interconnessione tra invaso ed invaso; oltre a questa capacità distribuita equivalente, i parametri del sistema influenti su tale velocità sono la sezione delle gallerie di interconnessione dei serbatoi e la superficie degli specchi d'acqua degli invasi; stabilendo su tali basi le equazioni di continuità e di equilibrio dinamico di un tratto unitario di tubazione e ricercandone le soluzioni propagatorie, si ricava una velocità apparente di propagazione. Assumendo una superficie della sezione trasversale delle gallerie di circa 10 metri quadri e superfici medie degli specchi d'acqua dei serbatoi dell'ordine di 10 ettari, tale velocità apparente risulta dell'ordine di 4 m/s e di conseguenza il tempo caratteristico di transito del segnale da un capo all'altro del sistema (percorso assunto dell'ordine di circa 1000 km) può essere valutato nell'ordine di 3 giorni. Questi tempi potrebbero essere ridotti aumentando la sezione delle gallerie di interconnessione dei serbatoi⁴, sezione che costituisce pertanto uno dei parametri del sistema che dovrebbero fare l'oggetto di una indagine di ottimizzazione, in quanto evidentemente un incremento della sezione assicurerebbe tempi di risposta più brevi, ma comporterebbe costi maggiori. (Si noti che collegamenti tra un serbatoio e l'altro con canali a pelo libero anziché con gallerie in pressione risultano non proponibili non solo perché non permetterebbero di sfruttare altro che le parti superficiali degli invasi, ma anche per il fatto che i transitori sarebbero fortemente aggravati in intensità e durata dai fenomeni di propagazione ondosa a bassa celerità nei canali).]

In questo contesto appare evidente che l'infrastruttura qui proposta dovrà essere dotata di un efficiente organismo tecnico di gestione, assistito da modelli di simulazione e previsione in tempo reale e collegato con efficienti reti di comunicazione da una parte alle organizzazioni incaricate delle proiezioni meteo (a livello nazionale e locale) e dall'altra sia alla Protezione Civile, sia agli organismi regionali di gestione delle acque cui dovrebbero far capo le richieste degli utilizzatori finali dei deflussi trasferiti, sia infine col sistema elettrico nazionale per il coordinamento dell'eventuale produzione od utilizzo dell'energia prodotta o consumata. Inoltre andrà progettata la rete degli allacciamenti dei serbatoi del sistema ai destinatari delle acque gestite (consorzi, nuovi impianti di produzione/pompaggio...).

In questo modo si conseguirebbero i due scopi suddetti: infatti i serbatoi più a nord intercetterebbero, ad una quota non eccessivamente alta, gli apporti estremi dei fiumi e torrenti responsabili delle periodiche alluvioni da cui sono afflitte le regioni settentrionali, attualmente non accumulabili negli invasi esistenti e quindi destinati a riversarsi sul territorio sotto forma di pericolose alluvioni, mentre quelli più a Sud, alimentati al bisogno da quelli centrali e settentrionali attraverso la catena idrica descritta, potrebbero alleviare le ricorrenti penurie idrologiche delle regioni ad essi prossime. La collocazione dei serbatoi ad una quota uniforme assicurerebbe, oltre alla eliminazione della necessità di organi di regolazione del deflusso tra l'uno e l'altro, la fruibilità della capacità totale che in base ad appositi studi idrologici appaia sufficiente ad una compensazione annuale od eventualmente pluriennale del deficit di

⁴ I tempi si ridurrebbero, in prima approssimazione, in proporzione inversa alla radice quadrata della sezione in parola.

disponibilità delle regioni meridionali; si può presumere in via del tutto orientativa e preliminare che tale capacità possa rivelarsi dell'ordine almeno di 1-2 miliardi di metri cubi (v. nota 3 a piè di pagina). La scelta della quota uniforme in parola è uno degli obiettivi/risultati primari da conseguire nello studio, attraverso una ottimizzazione delle capacità di intercettazione/assorbimento delle piene estreme (v. sopra) e di efficiente alimentazione delle utenze finali. E' comunque evidente a priori che la scelta di una quota troppo elevata comporterebbe la mancata intercettazione degli apporti afferenti alle quote inferiori, da cui una insufficiente mitigazione delle piene estreme, mentre una quota troppo bassa proteggerebbe una percentuale insufficiente del territorio (e secondariamente non consentirebbe una apprezzabile produzione supplementare di energia idroelettrica); per questa ragione si sono indicati a priori, sempre in via orientativa di larga massima, i limiti sopra accennati di 500 e 1000 m. s. m.

Mentre la funzione principale attribuita all'opera sarebbe quella di protezione in senso lato del territorio e delle attività produttive su di esso insediate, vantaggio accessorio ma non trascurabile sarebbe la minor vulnerabilità del sistema elettrico (piloni delle linee di trasmissione, stazioni di trasformazione, centrali di produzione) nei confronti degli eventi atmosferici estremi e quindi un miglioramento dell'affidabilità del servizio.

Altri riflessi favorevoli sull'efficienza complessiva del sistema elettrico non sono da escludere. Per esempio, l'integrazione dell'infrastruttura qui proposta con impianti di pompaggio (nuovi o già esistenti ove ciò sia possibile) da serbatoi posti a quote inferiori a quelle dell'interconnessione aumenterebbe la flessibilità del sistema elettrico nazionale nell'ipotesi, non da scartare a priori, che a media-lunga scadenza (comunque in tempi omogenei con la durata dei lavori di realizzazione dell'infrastruttura proposta) si assista ad un riavvio della costruzione di impianti di generazione nucleari, od anche nell'eventualità che risulti conveniente aumentare la quota di energia di origine nucleare importata dall'estero come fornitura di base presupponente una aumentata capacità di accumulo per ottimizzare le capacità di trasferimento della potenza elettrica disponibile nelle ore 'morte' a potenza di punta richiesta nelle ore di massimo consumo.

4 STATO DELL'ARTE

In un mondo che evolve decisamente verso un sistema 'a reti' (elettrica, petrolifera e metanifera, dei trasporti, delle telecomunicazioni...) a dimensioni non più solo regionali, ma nazionali quando non continentali, e considerando d'altra parte le crescenti capacità tecniche di rapida realizzazione di opere di grande respiro, può solo destare sorpresa che non si sia ancora presa sistematicamente in considerazione la possibilità e l'opportunità di creare reti di interconnessione idrica a scala super-regionale. I tempi appaiono maturi per cominciare, quindi, a studiare e ad impostare quantitativamente i problemi, i tempi ed i costi inerenti ad infrastrutture di questo genere.

Del resto opere di questo tipo, atte a valorizzare e/o a proteggere in maniera integrata vasti territori, non sono del tutto senza precedenti. Senza riandare all'Impero Romano coi suoi imponenti acquedotti di cui alcuni superavano i 100 Km di lunghezza, operando trasferimenti di risorse idriche –soprattutto a scopo di rifornimento di nuclei urbani- su scala regionale, si possono citare in tempi più recenti: in U. S. A. la pianificazione dello sfruttamento delle risorse idriche del Tennessee nella T. V. A. negli anni Trenta, in Libia il 'man-made river', tubazione di grande diametro lunga circa 1000 km (finanziata coi proventi dello sfruttamento petrolifero e servita anche da stazioni di pompaggio per superare dislivelli orografici) in fase di costruzione per trasferire acqua fossile dalle falde sotterranee del deserto verso il Nord del paese [4], nell'ex Unione Sovietica i cambiamenti di versante di alcuni fiumi siberiani realizzati, in Cina il progetto faraonico in corso di studio da molti decenni (e previsto per una realizzazione a tappe con una prima deadline per il 2020) finalizzato al trasferimento di decine di miliardi di metri cubi d'acqua all'anno dal Sud al Nord e Nord-Est del Paese, con migliaia di km di canali e stazioni di pompaggio [5], e infine nel nostro stesso Paese, su scala minore, l'acquedotto del Sele nel Sud per l'irrigazione del Tavoliere delle Puglie ed altre opere di interconnessione o di cambiamento di versante a dimensione regionale [3]. E' comunque prevedibile, dato l'incremento esponenziale dei fabbisogni e l'aggravarsi delle crisi idriche in tutto il mondo, che nel futuro tali opere possano diventare necessarie e la loro realizzazione, presto o tardi, indifferibile. Non appare perciò improprio affrontare sin da ora, in una prospettiva a medio-lungo termine, la questione della loro fattibilità tecnico-economica (così come si fa per altri tipi di reti e più in generale per le componenti socio-economiche dello sviluppo regionale e mondiale).

Ovviamente è necessario non limitarsi a considerazioni qualitative, ma valutare attraverso uno studio sistematico ancorché preliminare e di larga massima, le caratteristiche, i costi ed i tempi di attuazione di una simile, ambiziosa proposta. E' comunque da tener presente che i costi, senza dubbio assai ingenti, andrebbero pesati in relazione ai danni evitabili, ai possibili contributi dei fondi europei, all'utilità comparativa delle grandi opere di pubblica utilità già proposte realizzabili in alternativa (ad es. il ponte sullo stretto di Messina) ed i cui prevedibili costi sono dello stesso ordine di grandezza dell'opera qui prefigurata.

[Si può presumere in via del tutto ipotetica che il costo degli investimenti necessari potrebbe essere dell'ordine di 15-20 miliardi di Euro, da ripartire come detto su un arco di 10-20 anni, quindi con un onere annuo dell'ordine di 1-2 miliardi di Euro, che non appare a priori proibitivo ed è comunque comparabile se non inferiore alle somme che –ormai con deprimente regolarità- vengono stanziati mediamente ogni anno per ovviare ai danni causati dalle ricorrenti catastrofi idrogeologiche].

4.1 Interconnessioni idriche nel mondo. Le esperienze libiche e cinesi.

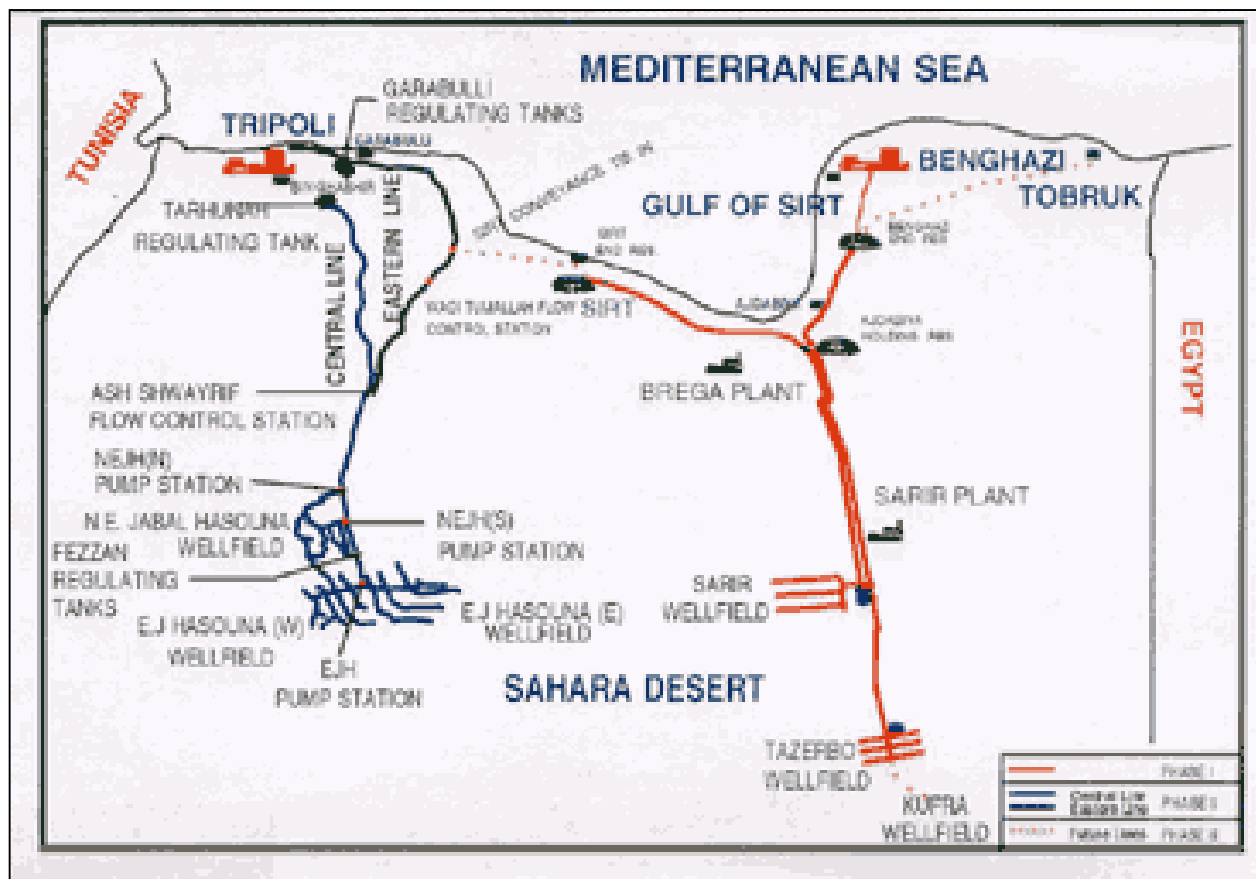
4.1.1 Il Great Man-made River Project (“GMRP”).

Scopo di questo originale ed interessante progetto, dal costo di oltre 25 miliardi di dollari, in corso di realizzazione in Libia e giunto al termine della seconda delle sue cinque fasi previste nell’arco di 25 anni, è l’estrazione d’acqua dai giacimenti sotterranei nel Deserto del Sahara ed il suo convogliamento fino alla fascia costiera, per lo sfruttamento ad uso civile, industriale ed irriguo.

Nonostante il Deserto Libico sia una delle regioni più calde ed aride del Pianeta, esso nasconde, a 500 o 600 metri sotto la sua superficie, vasti giacimenti di acqua formatisi nell’Era Glaciale, che furono scoperti una trentina d’anni fa durante ricerche petrolifere.

L’acqua è pompata da circa 270 pozzi (situati in pieno deserto a circa 600 km a sud di Tripoli nella zona di Jabal Hasawnah, ed a circa 700 km a sud di Benghazi nelle zone di Sarir e Tazerbo), per mezzo di un sistema di oltre 4.000 km di pipelines e due acquedotti lunghi circa 1.000 km che trasportano attraverso il deserto una portata giornaliera di oltre 5.000.000 di metri cubi.

Gli elementi in calcestruzzo delle condotte (aventi un diametro di circa 4 metri, lunghezza di 7,5 m e pesanti circa 80 t) sono realizzati localmente in unità di prefabbricazione, trasportati su mezzi speciali e calati nelle trincee da grandi macchine operatrici, che provvedono anche al ricoprimento della tubazione dopo la posa. L’obiettivo del progetto non è solo quello di risolvere il problema di rimpiazzare le falde acquifere della regione costiera (che vanno inquinandosi a causa dell’intrusione d’acqua salata per effetto dell’eccessivo emungimento di acqua dolce), ma anche di incrementare i terreni arabili di oltre 500.000 ettari, l’allevamento di ovini di 3 milioni circa di capi, oltre ad assicurare l’approvvigionamento idrico alle regioni abitate ed alle zone destinate allo sviluppo industriale, per soddisfare le necessità legate alla forte crescita demografica ed espansione economica della Libia e dei Paesi limitrofi.

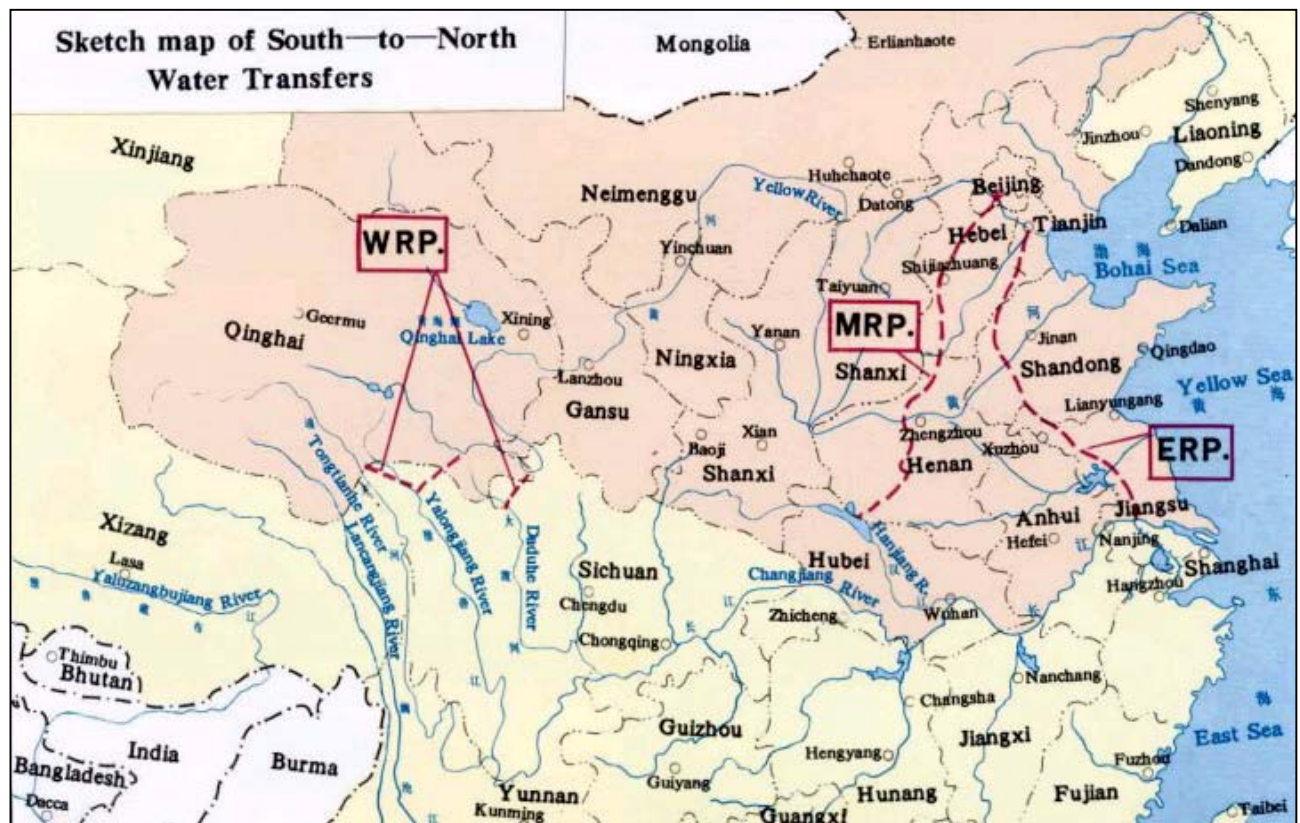


4.1.2 Il South-to-North Water Transfers in Cina

Il progetto di trasferimento a nord delle acque del sud mira a trasferire parte delle acque della Cina meridionale a quella settentrionale piuttosto arida. Questa grande opera idraulica, cambierà radicalmente il quadro cinese di grave squilibrio della distribuzione delle risorse idriche, rivestendo un'importanza vitale per lo sviluppo a lungo termine del paese. La Cina è un paese con una grave scarsità di risorse idriche, visto che la disponibilità pro capite d'acqua è di soli 2700 metri cubi (all'anno?), equivalente ad un quarto della media mondiale. In Cina la distribuzione risulta estremamente squilibrata sul piano sia temporale che regionale. La parte meridionale del paese, per esempio, dispone di ricche risorse idriche, pari all'80% del totale nazionale, mentre quella settentrionale è arida e semiarida. Sulla base di ricerche e prove esaurienti, i dipartimenti competenti hanno elaborato tre linee di derivazione, che portano dai corsi inferiore, medio e superiore del Fiume Azzurro, creando una struttura generale di trasferimento composta dalle linee orientale, centrale ed occidentale. Il progetto è stato attivato ufficialmente alla fine dell'anno scorso. Si prevede che gli investimenti totali raggiungeranno gli 80 miliardi di Yuan, moneta cinese (1 Yuan = 0.091 Euro), e che i lavori della linea di derivazione centrale iniziati per primi, saranno ultimati nel 2010. Secondo le previsioni degli esperti, dopo l'ultimazione dell'intero progetto, potranno essere annualmente trasferiti 38-48 miliardi di metri cubi d'acqua, equivalenti alla portata del Fiume Giallo, il secondo della Cina. Secondo gli economisti cinesi, una volta risolto lo spinoso problema della scarsità d'acqua che impedisce da tempo lo sviluppo economico e sociale della Cina settentrionale, il trasferimento a nord delle acque del sud promuoverà fortemente lo sviluppo industriale e agricolo locale.

L'attuazione del progetto svolgerà un enorme ruolo propulsivo per lo sviluppo industriale dell'intera regione. Il trasferimento a nord delle acque del sud riveste anche una grande importanza per il miglioramento del quadro ecologico della Cina settentrionale. Il progetto permetterà di ridurre efficacemente la quantità delle acque sotterranee estratte, contenendo in tal modo lo sprofondamento delle superficie terrestri, l'erosione delle acque marine e altri fenomeni di deterioramento ecologico e fornendo la garanzia delle condizioni idrauliche necessarie al ripristino, alla ricostruzione e allo sviluppo del quadro ecologico.

Il piano di trasferimento di acqua dal sud al nord della Cina si articola in tre progetti distinti: Progetto Occidentale (WRP), Progetto Medio (MRP) e Progetto Orientale (ERP) e devierà rispettivamente acqua da portate superiori, medie, e più basse del Fiume Changjiang (Fiume Giallo), per soddisfare i requisiti di sviluppo del NordOvest e del Nord della Cina.



Il **Western Route Project (WRP)** devierà l'acqua dal corso superiore del fiume Changjiang verso il fiume Huanghe. La quantità di acqua prevista è di circa 20 miliardi di metri cubi.

Sono stati considerati due metodi di deviazione delle acque: per gravità e per pompaggio. Dovrà essere costruita una grande diga (alta 200 m), alcuni lunghe gallerie (lunghe più di 100 Km) attraverso i monti Bayankala, nonché alcune stazioni di pompaggio per il sollevamento dell'acqua.

Il **Middle Route Project (MRP)** devierà l'acqua dal fiume Haijiang, affluente del Changjiang, verso la città di Pechino per mezzo di canali da costruire attraverso le montagne Funiu e Taihang. In futuro, un'ulteriore quantità di acqua sarà ottenuta dai bacini Three Gorges o da una derivazione della diga sul corso principale dello Changjiang. Basato sull'estensione del bacino di Danjiangkou (la cui diga sarà innalzata da 162 a 176.6 m) la quantità di acqua deviata sarà di 14.14 miliardi di metri cubi. Saranno completati entro il 2020 anche alcuni progetti di "compensazione" per ripristinare la capacità del fiume Hanjiang di assicurare lo sviluppo industriale e l'agricoltura di tutta la regione.

Infine, l'**Eastern Route Project (ERP)** devierà l'acqua dal corso inferiore del fiume Changjiang per rifornire la parte orientale della pianura Huang-Huai-Hai, con terminazione nella città di Tianjin attraverso il Grande Canale Pechino-Hangzhou. Il rifornimento di acqua alle città di Jiangsu, Anhui, Shandong, Hebei e Tianjin sarà aumentato con 14.33 miliardi di metri cubi.

Il progetto ERP consiste in sistemi di convogliamento, immagazzinamento (impounding) e fornitura di energia.

Il sistema di convogliamento include il canale principale (1150 Km), stazioni di pompaggio e un sistema di attraversamento del fiume Huanghe mediante un tunnel lungo 8.67 Km.

Per il sistema di immagazzinamento verranno utilizzati i laghi di Hongze Lake, Luoma, Nansi, Dongping, con una capacità totale di 7.57 miliardi di metri cubi.

Il sistema di fornitura di energia prevede 30 stazioni di pompaggio con una potenza installata di 887.7 MW e un consumo annuale di 3.82 miliardi di kW.

4.1.3 L'interconnessione idrica tra nord e sud in Italia

Come anticipato nella Premessa, dal punto di vista puramente tecnico sarebbe concepibile progettare e realizzare un sistema di interconnessione idraulica tra le regioni del Nord, dove in media le precipitazioni sono sovrabbondanti (ancorché irregolari) e quelle del Sud, dove al contrario vi è mediamente un cronico deficit degli apporti annuali, tanto che alcune zone sono giudicate “a rischio di desertificazione”. A puro titolo di esempio per avere un’idea degli ordini di grandezza in gioco, si ritiene che una catena di circa 40-50 invasi distribuiti abbastanza regolarmente lungo la dorsale appenninica (dalle Prealpi liguri alla Calabria), ad una quota presumibilmente non più bassa di 500 m. s. m. né più alta di 1000 m. s. m., ognuno con una capacità utile dell’ordine di 25-40 milioni di metri cubi in media, interconnessi da tunnel in pressione di una lunghezza media di 25-35 Km, potrebbe essere in grado di trasferire efficacemente una parte significativa del surplus medio degli apporti naturali del Nord non intercettabili dagli invasi già in essere (evitando che tale surplus defluisca sotto forma di piene incontrollate dei corsi d’acqua intercettati) verso le zone deficitarie, situate soprattutto nel Meridione.

4.1.4 La raccolta di dati idrologici, geologici e territoriali

La prima fase dello studio di prefattibilità di una interconnessione idrica tra nord e sud Italia passa, come già accennato nella Premessa, attraverso la raccolta di una cospicua mole di dati e la loro organizzazione in un sistema informativo geografico (GIS). Quest’ultimo è un insieme di strumenti informatici concepito per descrivere ed analizzare elementi, eventi e fenomeni inerenti la superficie terrestre. La tecnologia GIS integra in un unico ambiente le più comuni operazioni legate all'uso di database (interrogazioni, analisi statistiche) con i benefici dell'analisi geografica consentita dalle mappe cartografiche. Questa particolarità distingue il GIS dagli altri sistemi di informazione e fa di esso un potente strumento utilizzabile da molteplici operatori privati e pubblici per pianificare gli eventi, predire i risultati e definire strategie.

Il GIS memorizza le informazioni geografiche come una collezione di layers (strati) tematici che possono essere tra loro relazionati tramite collegamento e sovrapposizione geografica. In questo modo sarà possibile mettere in relazione tra di loro i dati utili allo studio di interconnessione idrica e in particolare:

- le carte topografiche al 250.000, con evidenziate le isocore di 500 e 1000 m. s. m.;
- la rete idrografica;
- gli invasi esistenti;
- i principali insediamenti;
- le carte geologiche delle regioni attraversate, in relazione tra l’altro alla fattibilità delle gallerie di interconnessione degli invasi;
- le carte delle zone di rischio per frane;
- i dati pluviometrici medi ed estremi delle regioni attraversate;
- i dati idrologici dei corsi d’acqua esistenti lungo la dorsale appenninica e defluenti sia verso il Tirreno che verso l’Adriatico (o verso i laghi interni);
- il censimento degli invasi già esistenti lungo il percorso dell’interconnessione in oggetto e situati a quote idonee, ai fini come sopra specificato della creazione di una banca dati delle loro caratteristiche e dei loro dati gestionali (piene scaricate...);

Ulteriori dati utili alla definizione del progetto sono i dati macroeconomici circa i danni subiti dalle regioni attraversate per piene, frane e mancata produzione agricola per siccità e conseguente deficit di disponibilità irrigue, nonché i dati unitari di massima (ad esempio dati di costo al metro di scavo ed eventuale rivestimento delle gallerie in pressione) atti a stimare l’ordine di grandezza del costo delle opere da realizzare.

5 RICERCA DI PREFATTIBILITÀ

Uno studio quantitativo, ancorché di massima, della fattibilità tecnico-economica della proposta qui sommariamente accennata appare in ogni caso interessante come tappa preliminare al termine della quale sarebbe più chiaro di quanto non possa esserlo ora se l'idea meriti di essere ulteriormente sviluppata o debba viceversa essere, almeno per il momento, accantonata.

In questa fase si è cercato di raccogliere ed organizzare dal punto di vista informatico, in data-base finalizzati allo studio di cui trattasi, i dati pluviometrici delle regioni attraversate ed i dati idrologici dei corsi d'acqua da intercettare, più gli eventuali dati di esercizio (invasi, portate utilizzate, piene scaricate) degli sbarramenti già esistenti lungo le aste fluviali relative.

Si è ritenuto in prima battuta che tali dati potessero limitarsi all'arco temporale coperto dall'ultimo decennio; includere i dati relativi agli anni precedenti rischierebbe infatti di inquinare i data-base con dati che non rispecchiano l'evoluzione recente del clima e dei conseguenti regimi del ciclo dell'acqua (Nel caso dell'Italia si può con qualche arbitrio fissare la data di rottura del precedente equilibrio all'autunno 1994 con le gravi alluvioni nel Piemonte). Tuttavia, come verrà spiegato di seguito, i dati relativi all'ultimo decennio su scala nazionale non esistono oppure sono estremamente difficili da reperire.

E' stato altresì necessario raccogliere informazioni di tipo geologico-pedologico attinenti ai territori attraversati; dati sulle zone a rischio già dichiarato di possibili frane; dati sul rischio di alluvioni e inondazioni.

Nel raccogliere ed organizzare i dati in questione ci si è avvalsi ovviamente della cartografia generica e specializzata (ad es. carte geologiche, mappe di rischio) e dei data-base già esistenti nei vari sistemi informativi territoriali (GIS).

La tecnologia GIS integra in un unico ambiente le più comuni operazioni legate all'uso di database (interrogazioni, analisi statistiche) con i benefici dell'analisi geografica consentita dalle mappe cartografiche. Questa particolarità distingue il GIS dagli altri sistemi di informazione e fa di esso un potente strumento utilizzabile da molteplici operatori privati e pubblici per pianificare gli eventi, predire i risultati e definire strategie. Il GIS memorizza le informazioni geografiche come una collezione di strati tematici (tematismi) che possono essere tra loro relazionati tramite collegamento e sovrapposizione geografica.

La ricerca ha dovuto necessariamente articolarsi in diverse fasi successive, che vengono sommariamente caratterizzate qui di seguito.

5.1 Raccolta di dati idrologici, geologici e territoriali

A seguire una breve rassegna dei dati collezionati.

5.1.1 Cartografia

È stato reperito il modello digitale del territorio italiano, su di esso è possibile evidenziare l'intervallo di quote di interesse (500 - 1000 m s.l.m.) e tracciare le linee isocore a diversi passi. È stato utilizzato questo supporto per le difficoltà di reperimento (e i costi) di una cartografia più dettagliata su scala nazionale. Risultati più significativi si potrebbero ottenere lavorando su cartografie di risoluzione più elevata, rivolgendosi all'IGM oppure sfruttando la cartografia che alcune regioni (non molte) hanno già provveduto a mettere on-line.

È stata reperita la carta geologica del territorio italiano, sulla quale non sono state effettuate elaborazioni.

La rete idrografica italiana, divisa in sei classi di importanza, è disponibile in altrettanti tematismi consultabili con ArcView.

Sono stati reperiti inoltre due tematismi che rendono conto rispettivamente degli invasi esistenti e degli sbarramenti. Quest'ultimo contiene anche numerose informazioni riguardo alle caratteristiche degli stessi (altezza e quota di coronamento, volume del serbatoio, tipologia della diga, corso idrografico e bacino di appartenenza, etc...).

Per quanto riguarda le ortofoto del territorio italiano si è ritenuta meno onerosa e più efficace la consultazione on-line della cartografia messa a disposizione dal sito www.atlanteitaliano.it. Dal medesimo sito è possibile accedere anche alla consultazione della mappatura del rischio di frane e alluvioni per l'intero territorio nazionale.

5.1.2 Dati idrologici e pluviometrici

È stato reperito un tematismo consultabile con il programma ArcView riportante le stazioni di misura di dati idrologici e pluviometrici. Il tematismo riporta per ogni stazione la quota, latitudine e longitudine. Ogni stazione inoltre è identificata da un codice che permette di individuarla nel DataBase "Stazioni.mdb".

"Stazioni.mdb" è stato ottenuto a partire da DataBase già esistenti, scartando i dati non utili allo studio in questione, selezionando i dati di interesse e riorganizzandoli nel nuovo DataBase. "Stazioni.mdb" contiene le misurazioni sia idrologiche che pluviometriche effettuate da più di 8000 stazioni site sul suolo italiano. Per ogni stazione sono indicate:

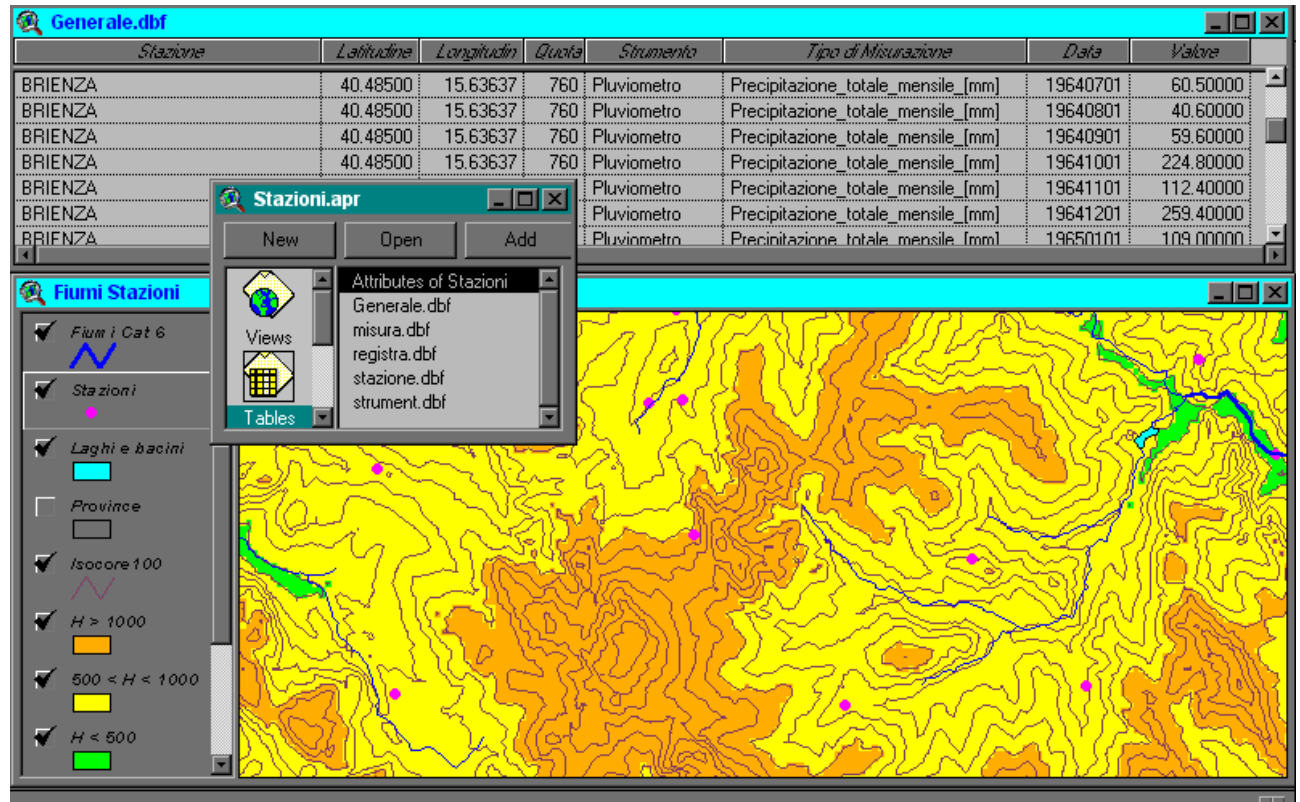
- Quota
- Latitudine e longitudine
- Strumento di misura e tipo di misura effettuato
- Serie storiche registrate

5.1.3 Tavola "Stazioni.apr"

È stata redatta tramite il programma ArcView la tavola "Stazioni.apr", di cui è riportata una schermata a fine paragrafo. Una tavola (o proiezione) realizzata in ArcView permette di consultare in un unico ambiente dati cartografici e dati tabulati. La tavola si propone di esporre in un quadro d'insieme i dati geologici, idrologici e territoriali collezionati.

Nella tavola "Stazioni.apr" vengono visualizzati i tematismi raccolti e le relative tabelle (carta topografica, carta geologica, rete idrografica, stazioni di misura). Sulla carta topografica sono state tracciate le isocore ogni cento metri e si sono evidenziate le fasce di quota (<500, 500-1000, >1000 m s.l.m.).

Oltre alle tabelle dei vari tematismi visualizzati sono state importate dal DataBase "Stazioni.mdb" alcune tabelle riportanti dati esaustivi sulle stazioni di misura. Le tabelle importate sono state unite nella tabella "Generale". La nuova tabella contiene, per ogni stazione, quota, latitudine e longitudine, strumento utilizzato, tipo di misurazione effettuata e serie storiche registrate in quella stazione di misura. La tabella così ottenuta è stata poi collegata mediante 'link' a quella relativa alla carta delle stazioni. In questo modo è stato instaurato un legame biunivoco tra i dati cartografici riguardanti le stazioni di misura e quelli tabulati della tabella "Generale".



5.1.4 Carenze delle fonti e procedure adottate per superarle

I dati reperiti non sono completamente esaustivi per due ragioni. In primo luogo si riferiscono tutti alla seconda metà del secolo scorso (del '900) e non all'ultimo decennio. In secondo luogo il DataBase "Stazioni" presenta numerose lacune, ossia per molte stazioni non sono riportate le misurazioni.

Non è stato possibile ovviare al primo inconveniente perché i dati relativi all'ultimo decennio su scala nazionale non esistono oppure sono estremamente difficili da reperire. Per quanto riguarda i dati idrologici mancanti è stato necessario compiere nuove ricerche. E' stata reperita la pubblicazione "Potentiel Brut Hydroelectrique Des Cours d'Eau Italiens – Commission Economique pour l'Europe, Comite de l'Energie Electrique, Delegation Italienne". In questa pubblicazione sono riportate le portate medie e altre caratteristiche (quota media del bacino, coefficiente di afflusso, ecc.) riguardanti tutti i corsi d'acqua italiani e i relativi bacini e sottobacini. Per ogni misurazione sono indicati, e quindi facilmente rintracciabili sulla cartografia, il bacino interessato e la relativa sezione di chiusura in cui è stata effettuata la misura.

Si è ritenuto opportuno di redigere un nuovo tematismo riportante i nuovi dati acquisiti. Il tema è stato chiamato "Portate", e riporta i corsi d'acqua che presentano portate apprezzabili alla quota di 500 m s.l.m.. La sua tabella riporta il nome del fiume, il riferimento per individuare la stazione di misura sul fascicolo dei dati, la quota e la portata media.

5.2 Censimento degli invasi esistenti lungo il percorso dell'interconnessione

Dando per scontato che il tracciato del sistema di interconnessione segua grosso modo la dorsale Appenninica Nord-Sud (includere le Prealpi liguri) si è proceduto, in questa fase, a censire gli sbarramenti e gli invasi già realizzati ed in esercizio nelle vallate laterali in prossimità della dorsale tra le quote 500 m s.l.m. e 1000 m s.l.m., registrando in un data-base i dati di capacità utile, le quote di massimo invaso e

massimo svasso, le capacità di sfioro dagli organi di scarico. Sarebbe stato inoltre opportuno disporre delle serie cronologiche documentanti la gestione degli invasi stessi nell'ultimo decennio, ma tali informazioni non sono sempre rintracciabili.

È stato reperito un fascicolo dal titolo "Curve invaso dati caratteristici delle ritenute degli impianti idroelettrici - vol.1 serbatoi". Esso riporta i dati relativi agli invasi gestiti dall'Enel per la produzione di energia elettrica. Il fascicolo contiene, oltre ai riferimenti geografici e di archivio EI, le seguenti informazioni:

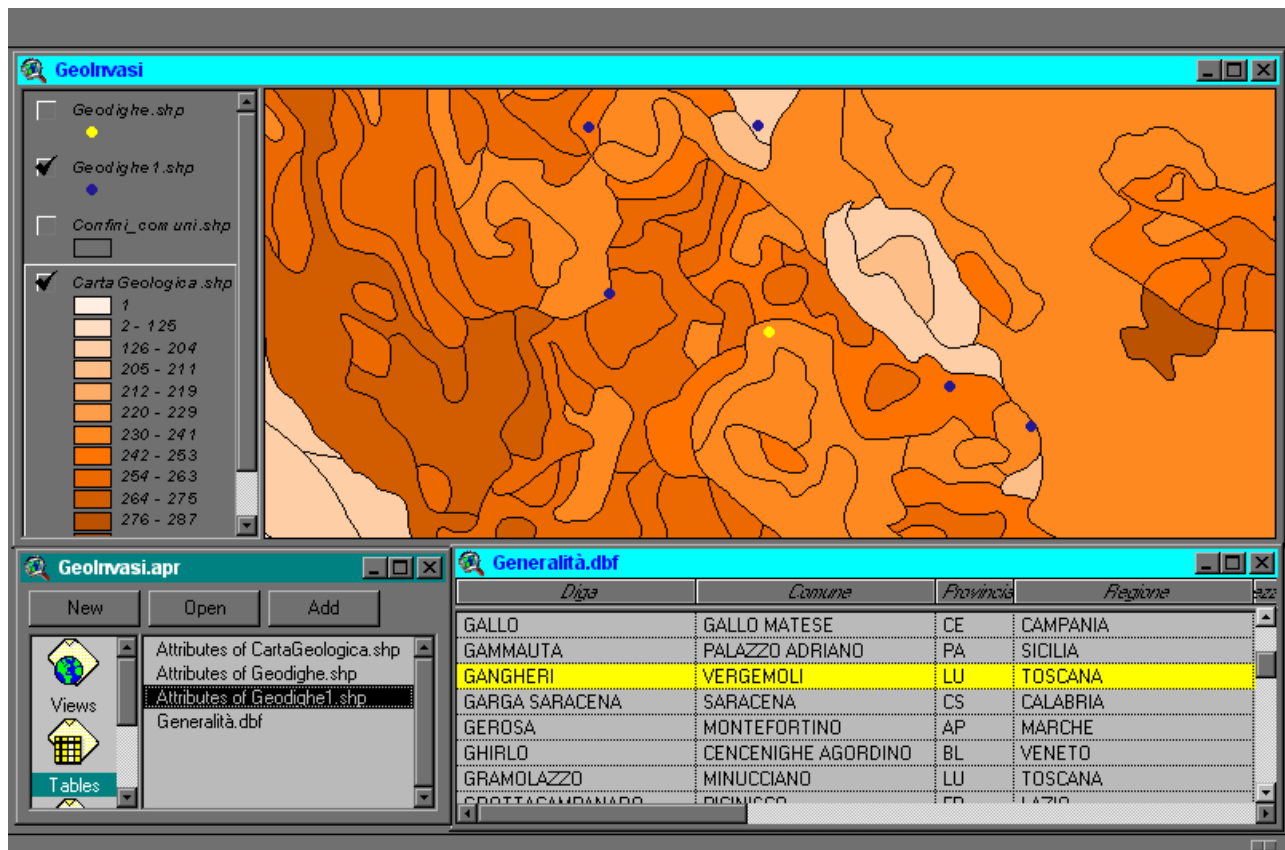
- Dati di esercizio (quote e volumi);
- Dati di progetto (quote);
- Curva invaso (grafico e tabella);
- Curva di progetto (grafico);
- Andamento medio pluriennale (1982-1994) dell'invaso in forma grafica e tabellare (quote, volumi, energie e percentuali);
- Elenco centrali a valle alimentate con coefficienti energetici e capacità equivalenti in energia.

È stata inoltre reperita una carta degli invasi sul suolo italiano, consultabile con ArcView, che riporta per ogni diga latitudine e longitudine. Ogni diga inoltre è identificata da un codice che permette di individuarla nel DataBase "GeoInvasi.mdb". Il DataBase in questione contiene tutti i dati sugli invasi italiani utili allo studio in oggetto. "GeoInvasi.mdb" è stato ottenuto a partire da DataBase già esistenti, scartando i dati non utili allo studio in questione, selezionando i dati di interesse e riorganizzandoli nel nuovo DataBase. I dati raccolti sono esaustivi per quanto riguarda le dighe in muratura, mentre i dati sulle dighe in terra sono probabilmente incompleti.

5.2.1 Tavola "GeoInvasi.apr"

Nella tavola "GeoInvasi.apr" (schermata riportata nella figura che segue) si focalizza l'attenzione sugli invasi esistenti e sulla geologia. In questa tavola la carta delle dighe è sovrapposta alla carta geologica. Alla tabella della carta tematica "Geodighe1" è stato aggiunto un campo chiamato "Geologia" riportante il codice della geologia della zona, desunto dalla carta geologica.

Oltre alle tabelle dei vari tematismi visualizzati sono state importate dal DataBase "GeoInvasi.mdb" alcune tabelle riportanti ulteriori dati sugli invasi. Le tabelle importate sono state unite nella tabella "Generalità". La nuova tabella contiene tutti i dati raccolti sugli invasi. La tabella così ottenuta è stata poi collegata mediante 'link' a quella relativa alla carta degli invasi. In questo modo è stato instaurato un legame biunivoco tra i dati cartografici riguardanti gli invasi e quelli tabulati della tabella "Generalità".



5.2.2 Carenze delle fonti e procedure adottate per superarle

I dati reperiti non sono completamente esaustivi. In primo luogo si riferiscono tutti alla seconda metà del secolo scorso (del '900) e non all'ultimo decennio. Non è stato possibile ovviare a questo inconveniente perché i dati relativi all'ultimo decennio su scala nazionale non esistono oppure sono estremamente difficili da reperire. In secondo luogo il DataBase "GeoInvasi.mdb" presenta alcune lacune, ossia per alcuni invasi non sono riportate la quota di coronamento e la capacità di invaso. I dati collezionati non sono del tutto esaustivi, mancano i dati relativi ad alcuni invasi.

Per colmare le lacune si è ritenuto opportuno in primo luogo effettuare una analisi spaziale per selezionare gli invasi potenzialmente utili (per posizione geografica) allo studio in questione. In questo modo è stato possibile scartare a priori gli altri invasi e quindi avere meno lacune da colmare. Una volta individuati gli invasi di interesse, si è proceduto a colmare le lacune attingendo i dati dai volumi: "Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani", (Anidel, 1961); tuttavia non è stato possibile colmare completamente le lacune perché non sono stato possibile reperire i dati relativi a undici invasi. È stata in seguito redatta una tabella excel riportante tutti i dati riguardanti gli invasi della catena appenninica e delle prealpi liguri.

Si può a questo punto disporre di tutto quanto si ritiene necessario a giudicare, nella successiva fase (4.2.3), per quali degli invasi in questione sia eventualmente proponibile, ai fini desiderati, collegarli con opportune opere di allacciamento alla dorsale principale di interconnessione, e quali potrebbero essere in linea di larga massima i costi da sopportare per realizzare tali collegamenti.

5.3 Determinazione della topologia dell'interconnessione e delle caratteristiche idrauliche principali delle opere accessorie

Il primo passo di questa fase dello studio è consistito nella ricerca di invasi esistenti aventi caratteristiche tali da renderli idonei ad essere allacciati all'opera in questione. Si è poi proceduto con l'individuazione delle vallate appenniniche idonee ad accogliere i nuovi invasi. A supporto di questa fase dello studio è stata redatta una nuova tavola in ArcView. La tavola "Interconnessione.apr" (si veda la figura successiva) è un'integrazione delle due tavole già redatte, in essa sono presenti tutti i tematismi collezionati e le relative tabelle. Il suo scopo è di fornire un quadro d'insieme dei dati (geografici e tabulati) raccolti. Lavorare su un'unica tavola comprensiva di tutti i dati presenta il vantaggio che è possibile visualizzare e sovrapporre tra loro tematismi diversi a seconda dell'indagine da effettuare ed avere una buona coordinazione tra dati geografici e di altra natura.

5.3.1 Scelta degli invasi già esistenti

L'obiettivo di questa fase dello studio è stato di individuare gli invasi potenzialmente idonei (per quota e volume invasato) ad essere allacciati all'opera in oggetto. Lo scopo è di individuare una quota ottimale (compresa tra 500 e 1000 m s.l.m.) da assegnare ai nuovi invasi per poter sfruttare il maggior numero possibile di invasi già esistenti.

A questo scopo si è fatto ricorso alla tabella riportante i dati relativi agli invasi della catena appenninica e delle prealpi liguri, in modo da non dover reiterare la selezione geografica. Si è proceduto a filtrare i dati della tabella in modo da ottenere gli invasi idonei per quota di coronamento e volume invasato. Come spiegato nella premessa la quota di coronamento degli invasi deve essere compresa tra i 500 e i 1000 m s.l.m., e il volume invasato si è scelto non inferiore ai 25 milioni di metri cubi. Il risultato di questa ricerca si è rivelato piuttosto sterile, in quanto gli invasi idonei sono risultati essere solo sei, e a quote piuttosto diverse:

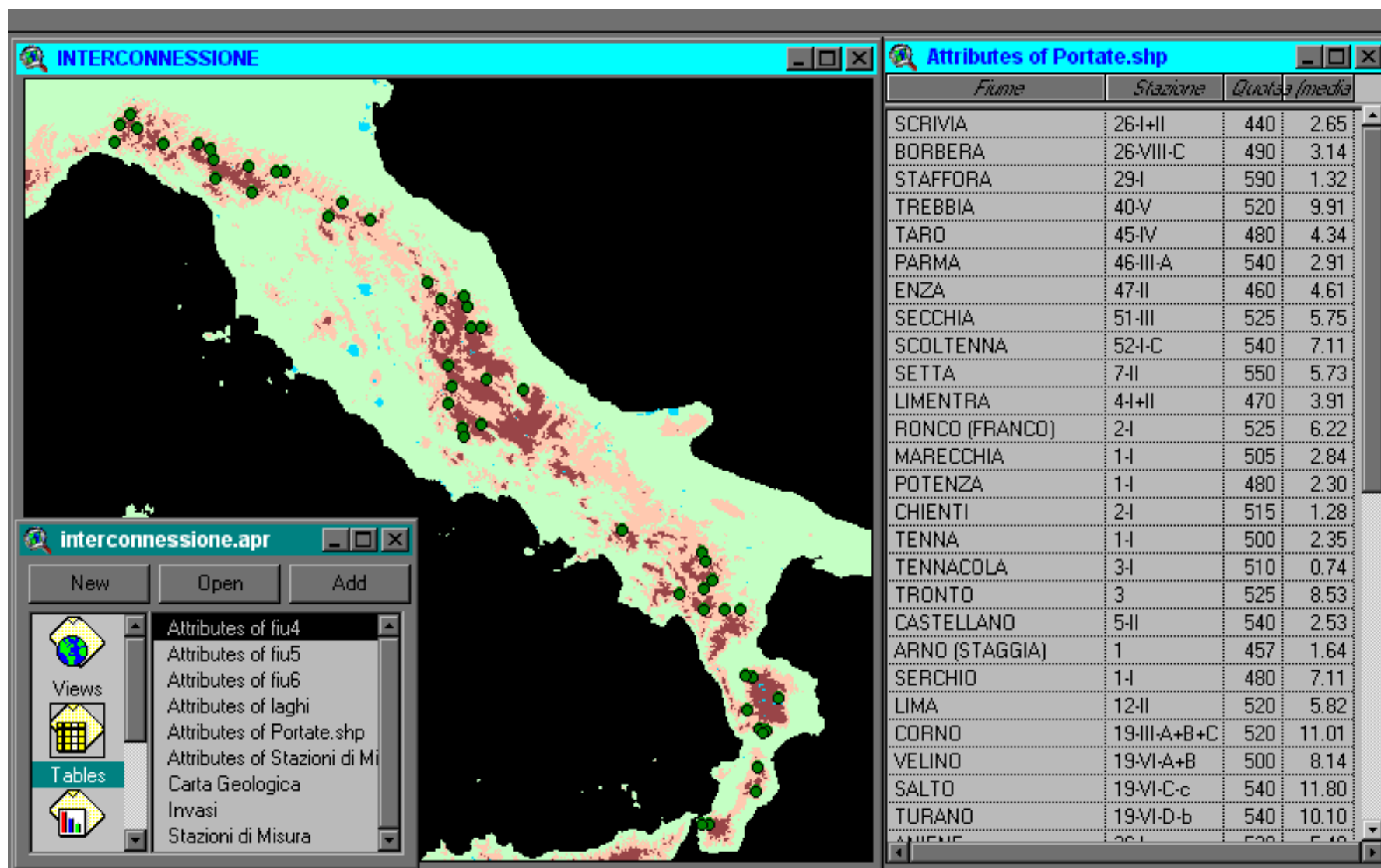
DIGA	QUOTA DI CORONAMENTO (m s.l.m.)	CAPACITA' DI MASSIMO INVASO (milioni di m ³)
Barrea	976	24.3
Boreca	534.6	60
Cecita	1145	108.2
Rio Lunato	688.6	60
Suviana	472.5	46.7
Vagli	563	34

Alla luce di questo risultato si è ritenuto opportuno per le fasi successive dello studio non fare affidamento sugli invasi esistenti poiché il loro contributo sarebbe pressoché trascurabile.

5.4 Individuazione delle vallate idonee ad accogliere nuovi invasi

Per prima cosa si è provveduto alla individuazione geografica dei corsi d'acqua appenninici e a una loro classificazione in base alla portata media annua registrata in una stazione di misura prossima alla quota di 500 m s.l.m.. Poiché i dati raccolti presentavano numerose lacune è stato necessario ricorrere alla pubblicazione "Potentiel Brut Hydroelectrique Des Cours d'Eau Italiens – Commission Economique pour l'Europe, Comite de l'Energie Electrique, Delegation Italienne". In questa pubblicazione sono riportate le portate medie e altre caratteristiche riguardanti tutti i corsi d'acqua italiani e i relativi bacini

e sottobacini. Per ogni misurazione sono indicati, e quindi facilmente rintracciabili sulla cartografia, il bacino interessato e la relativa sezione di chiusura in cui è stata effettuata la misura.



Si è ritenuto opportuno redigere un nuovo tematismo riportante i nuovi dati acquisiti, in modo da disporre di una sorta di “mappa dei siti idonei” da poter sovrapporre alla tavola “Interconnessione.apr”. Il tema è stato chiamato “Portate”, e riporta i corsi d’acqua che presentano portate apprezzabili alla quota di 500 m s.l.m.. La sua tabella riporta il nome del fiume, il riferimento per individuare la stazione di misura sul fascicolo dei dati, la quota e la portata media.

La scelta dei siti idonei dovrebbe essere subordinata a una previa consultazione delle ortofoto del territorio e della mappatura del rischio di frane e inondazioni. Questo per evitare di intervenire in zone antropizzate o a rischio frane e andare ad agire nei siti in cui è maggiormente necessaria una mitigazione delle piene. Tuttavia per il momento si è data la precedenza ai siti maggiormente idonei per il regime di portate, riservandosi in un secondo tempo di modificare il tracciato dell’opera ove si rivelasse opportuno.

5.4.1 Nuovi Invasi: elaborazioni effettuate

Una volta individuate le vallate idonee ad accogliere nuovi invasi, si è proceduto vallata per vallata alla ricerca speditiva della sezione di sbarramento e alla valutazione approssimata dei volumi della diga e del serbatoio.

A supporto di questa fase è stata redatta tramite ArcView una nuova proiezione, “NuoviInvasi.apr” (si veda [la figura successiva](#)). Essa è composta essenzialmente da varie tavole di dettaglio (37) relative ciascuna a una delle vallate selezionate, nelle quali si sono tracciate le curve di livello con passo di cinque metri, e da una tavola d’insieme utile per visualizzare quello che risulterà essere il percorso e la configurazione dell’opera di interconnessione.

La scelta della quota di massimo invaso dell’intera opera di interconnessione non è frutto di una vera e propria ottimizzazione. Quest’ultima infatti sarebbe soggetta a numerosi vincoli (portate intercettate, maggiore o minore quantità di siti idonei, vicinanza con centri abitati, ecc.), alcuni dei quali difficili da esprimere tramite i dati raccolti. Tenuto conto dei limiti dei tempi e delle risorse che sono risultate disponibili, si è ritenuto opportuno scegliere una quota che soddisfi i vincoli principali, rimandando a una successiva fase dello studio la sua ottimizzazione vera e propria. È stata scelta la quota di 500 m s.l.m., in quanto essa consente in media di intercettare portate sufficienti e di avere ancora un dislivello sufficiente per la produzione di energia idroelettrica, inoltre l’antropizzazione a questa quota non dovrebbe essere troppo elevata e quindi sarebbe contenuta la probabilità di incontrare problematiche relative alla presenza di centri abitati nei siti idonei per i nuovi invasi. Anche qualora in successivi approfondimenti tale quota dovesse essere modificata, è ragionevole ritenere con buon margine di certezza che l’ordine di grandezza dei costi dell’opera non ne risulterebbe significativamente alterato.

5.4.2 Ricerca speditiva della sezione di sbarramento

Per la ricerca speditiva della sezione di sbarramento si è deciso di evitare opere eccessivamente grandi per i problemi di impatto ambientale e di opposizione della popolazione locale che probabilmente ne deriverebbero. In ragione di ciò si sono scelti i vincoli superiori di altezza delle dighe e di volume invaso, mentre per i vincoli inferiori si è fatto ricorso a un criterio di minima utilità dell’opera sufficiente a giustificare la realizzazione della stessa (al di sotto del quale il beneficio dell’opera diventerebbe trascurabile rispetto all’insieme). Il volume dei singoli invasi indicativamente deve essere non inferiore ai 10 milioni di m³, e non deve superare i 30-40 milioni di m³. Si scelto di contenere l’altezza delle dighe al di sotto dei 100 m, e si è comunque scelta come ottimale l’altezza di 50 m dove le condizioni di volume invaso lo permettono.

Per la ricerca speditiva della sezione ottimale è stato necessario misurare l’altezza e la larghezza della diga in modo da stimare il volume invaso al variare della sezione di sbarramento.

Per la generica sezione si è misurata la larghezza dello sbarramento sulla cartografia (tramite un'utilità di ArcView). L'altezza della diga è data dalla differenza tra l'isoipsa 500 e quella del punto più depresso della sezione. Per una valutazione di larga massima del volume invasato si è utilizzata la formula seguente:

$$W = \frac{(H \times L \times X)}{3}$$

In cui X è la distanza tra la sezione di sbarramento e il punto in cui il fondovalle è a quota 500 m s.l.m., H è l'altezza della diga, L la sua larghezza misurata alla quota di coronamento.

Per ogni vallata si è utilizzata come sezione di primo tentativo quella più favorita dalla topografia, e che comportasse un'altezza della diga non eccessiva. La sezione viene scelta nel caso in cui il volume stimato risulta accettabile. Nel caso fosse eccessivo si procede per approssimazioni successive spostando la sezione sempre più a monte fino ad arrivare ad avere un volume accettabile. Nel caso opposto, in cui il volume stimato risulta troppo esiguo, si procede per approssimazioni successive spostando la sezione sempre più a valle fino a raggiungere un volume sufficiente. Se una volta raggiunta l'isoipsa 400 ($H_{diga}=100m$) il volume è ancora insufficiente la vallata non è idonea.

Una volta individuata la sezione di sbarramento si è proceduto alla valutazione approssimata del volume della diga e del serbatoio.

5.4.3 Calcolo del volume approssimato della diga

Per il calcolo del volume approssimato della diga si è assunto di realizzare dighe in calcestruzzo del tipo a gravità massiccia. Una volta definite le seguenti grandezze:

- H=altezza di coronamento della diga
- a=larghezza della diga misurata al coronamento
- b=larghezza della diga misurata al piede
- $\alpha=(a-b)/2H$
- $\beta=b/H$

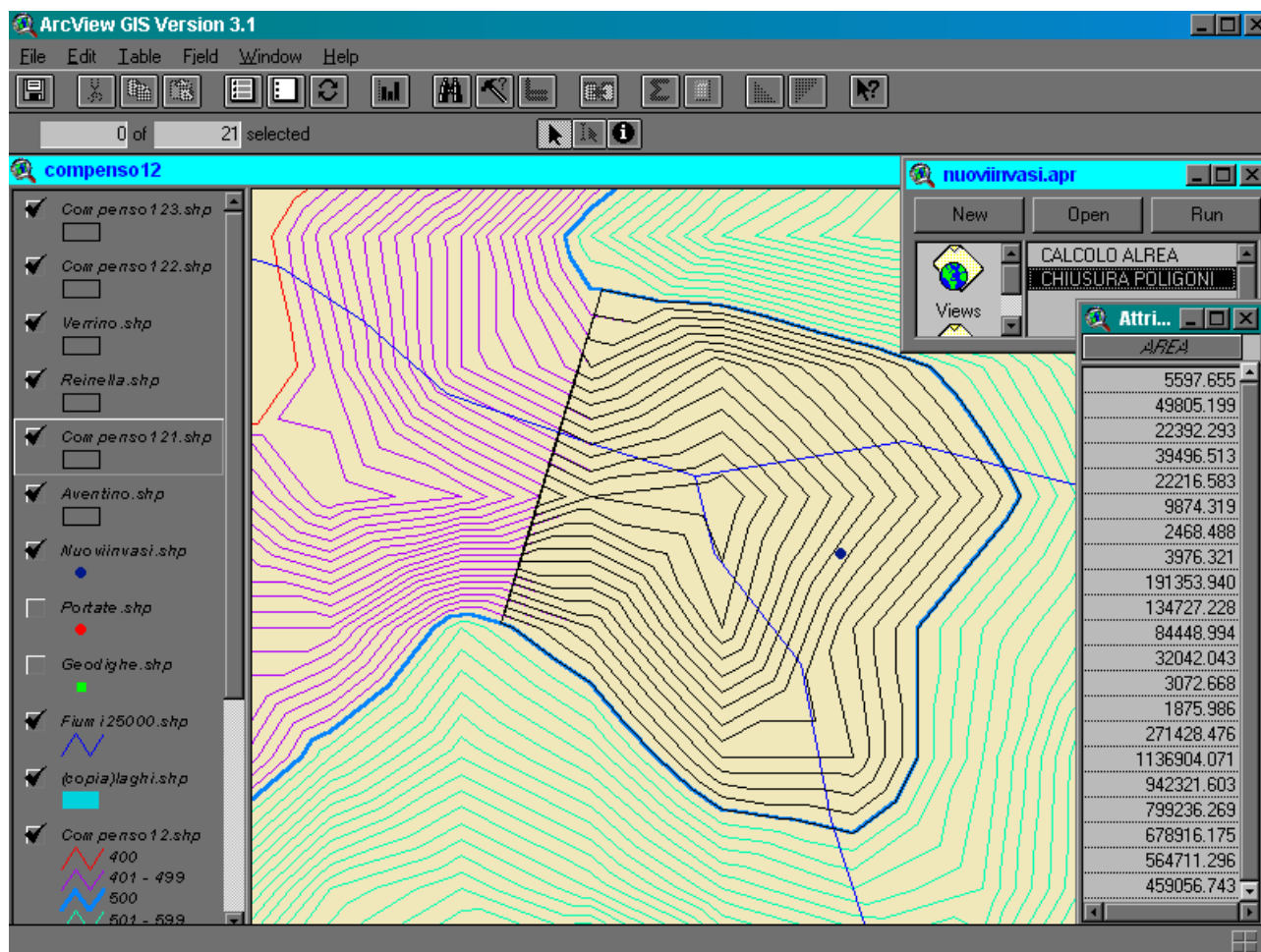
è possibile calcolare il volume della diga a mezzo della formula seguente:

$$V = \left(\frac{\alpha}{3} + \frac{\beta}{2} \right) \times H^3$$

Il valore ottenuto è basato su un'inclinazione del paramento di valle di 0.75, ed è già aumentato di un terzo del volume teorico per tener conto degli scavi e delle opere accessorie.

5.4.4 Calcolo del volume approssimato del serbatoio

Per il calcolo del volume approssimato del serbatoio si è lavorato in ArcView: si è fatto ricorso a uno script (compilazione di un file di testo e sua esecuzione) per chiudere le curve di livello con passo di cinque metri in corrispondenza della sezione scelta in modo tale da avere dei poligoni. In questo modo si è creato un nuovo tematismo poligonale al quale, tramite un'ulteriore script, è stato possibile associare le aree relative a ciascun poligono.



Ottenute in questo modo le aree sottese dalle curve di livello chiuse alla sezione scelta è stato possibile integrarle sull'intera profondità del serbatoio per calcolarne il volume complessivo. All'atto pratico, dato che le curve di livello hanno passo di 5 metri, si è scelto di approssimare il volume del serbatoio alla sommatoria di tanti strati di spessore 5 metri e forma data dall'isoipsa. È stato dunque sufficiente moltiplicare per 5 la sommatoria delle aree per ottenere la stima del volume del serbatoio.

5.4.5 Procedura di calcolo

Le relazioni utilizzate per i calcoli sopra esposti sono state riportate in un foglio di lavoro Excel, in modo da avere in un unico ambiente i dati di partenza, riportati manualmente oppure importati dalle tabelle di ArcView, e i risultati relativi a tutte le vallate analizzate. Una volta completati i calcoli per tutti i singoli invasi è stato possibile ottenere per sommatoria il volume totale delle dighe e dei serbatoi. Al volume totale invasato ottenuto per sommatoria è stato poi applicato un coefficiente correttivo pari a 0.6 per tener conto dei volumi morti (franchi di sicurezza, interventi per evitare l'interrimento, ecc.) e dell'esigenza che le opere di entrata e di uscita delle gallerie dai serbatoi siano situate ad una quota sensibilmente uniforme, esigenza che penalizza i volumi effettivamente disponibili di quei serbatoi in cui la differenza tra la quota di max. invaso ed il fondo valle in prossimità della diga è maggiore. .

Segue un estratto dal foglio di lavoro utilizzato: le righe evidenziate riportano il volume delle dighe e dei serbatoi; la parte sovrastante contiene i dati necessari al calcolo del volume delle dighe; nella parte sottostante sono state importate da ArcView le aree derivanti dalla chiusura delle curve di livello, necessarie per il calcolo del volume dei serbatoi. I valori delle caselle evidenziate in giallo sono stati ottenuti per sommatoria delle rispettive righe.

DIGA	ARNO	AVENTINO	BERANO	CALORE_IRPINO	CHIENTI
H	45	70	15	30	27
a	840	665	271	987	665
b	115	41	196	422	335
α	8.056	4.457	2.500	9.417	6.111
β	2.556	0.586	13.067	14.067	12.407
VOLUME DIGA	361'125	610'050	24'863	274'650	162'203
VOLUME INVASO	17'142'975	21'702'482	13'776'120	39'976'992	21'543'141
Coeff. Correttivo	10588.817	981.318	34200.256	21418.623	28655.645
0.6	6702.019	17821.172	19237.776	66936.643	152847.605
	115238.475	53785.523	8550.019	2016.130	312314.909
	63847.076	93070.747	2137.520	11697.256	446593.750
INVASO TOTALE	29956.369	131088.780	10594.149	38847.630	608584.514
1'015'749'416	5917.297	214033.398	62961.056	5462.972	757538.480
	30604.693	171525.727	401148.142	11289.014	922568.205
	13106.515	259022.822	322242.191	164961.190	1079525.083
VOLUME DIGHE	2774.087	305582.438	236075.931	1445.949	
39'926'826	61597.231	357072.912	477929.752	119502.040	
	267622.671	421759.982	551554.611	386215.134	
	120060.671	609936.966	628592.656	703336.364	
	961390.009	544195.945		1129673.903	
	796608.108	482115.554		2168800.483	
	526419.410	678503.200		3163795.000	
	416161.634				

5.4.6 Esempio pratico

Per maggiore chiarezza in questo paragrafo viene descritto come il procedimento sopra esposto è stato applicato alla vallata percorsa dal Manubiola, in Emilia Romagna.

Il primo passo è consistito nella ricerca speditiva della sezione di sbarramento. Per evitare di invadere un volume eccessivamente grande o di avere una diga troppo alta si è scelto il punto più a monte in cui la vallata presentava una leggera strozzatura.

Una volta individuata la sezione si è individuata la quota del punto più depresso, misurando il valore di 430 m s.l.m. Ne consegue un'altezza della diga di $H = 500 - 430 = 70$ m. La lunghezza del coronamento viene misurata in $L = 870$ m. L'ultima grandezza da misurare è X (la distanza tra la sezione di sbarramento e il punto in cui il fondovalle è a quota 500 m s.l.m.), che è risultata essere $X = 1500$ m. A questo punto si è stimato il volume approssimativo del serbatoio:

$$W = \frac{(H \times L \times X)}{3} = \frac{70 \times 870 \times 1500}{3} = 30.45 \times 10^6 m^3$$

Poiché sono rispettate le condizioni poste ($H < 100$ m e $W = 10 \div 40 \times 10^6 m^3$) si procede con una stima più accurata dei volumi della diga e del serbatoio.

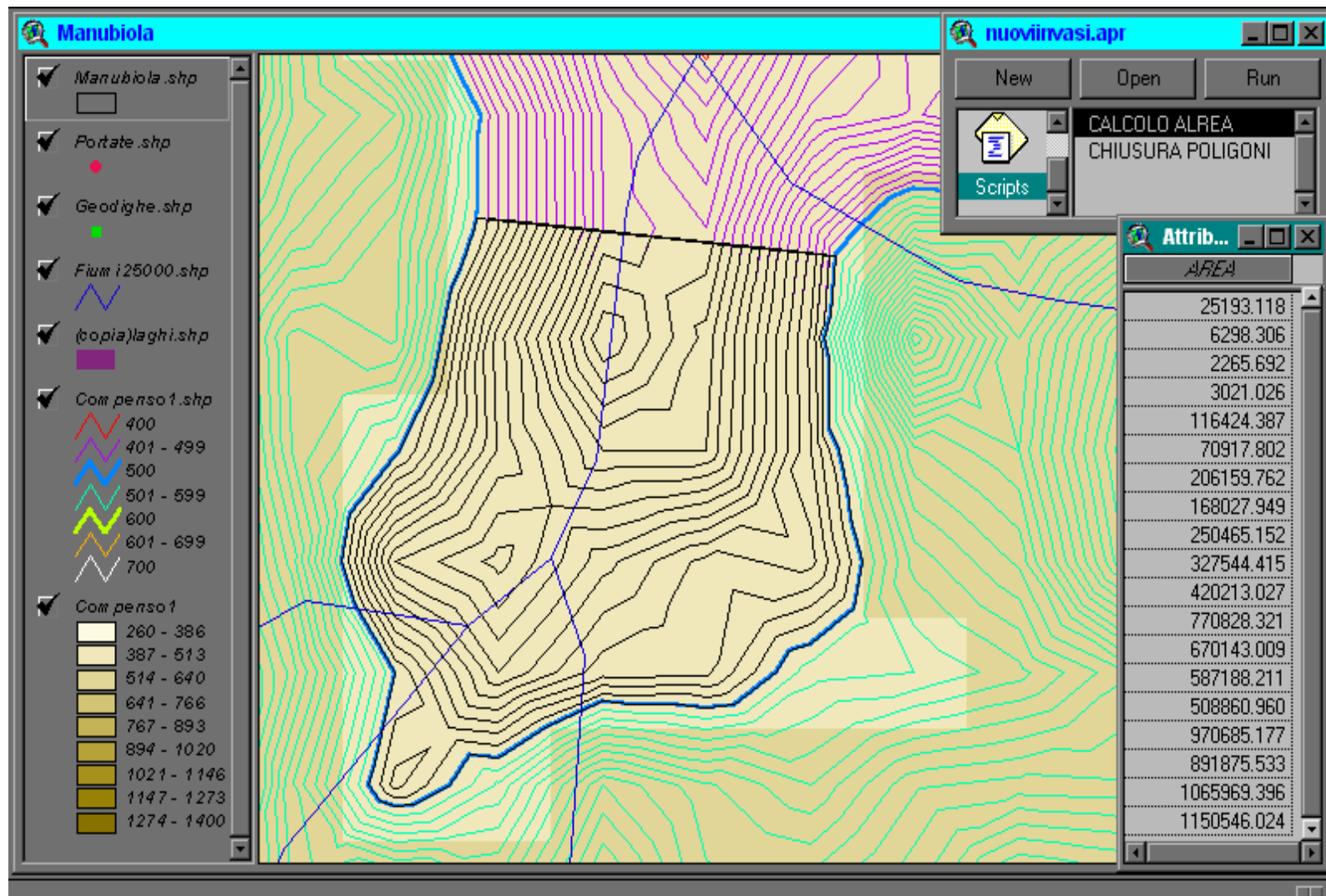
Le grandezze necessarie per la stima del volume della diga sono:

- H = altezza di coronamento della diga = 70 m
- A = larghezza della diga misurata al coronamento = 870 m
- B = larghezza della diga misurata al piede = 150 m
- $\alpha = (a-b)/2H = (870-150)/(2 \times 70) = 5.143$
- $\beta = b/H = 150/70 = 2.143$

Una volta misurate sulla cartografia le grandezze e calcolati i coefficienti dimensionali α e β è stato valutato il volume:

$$V = \left(\frac{\alpha}{3} + \frac{\beta}{2} \right) \times H^3 = \left(\frac{5.143}{3} + \frac{2.143}{2} \right) \times 70^3 = 955 \times 10^3 m^3$$

Per la valutazione del volume del serbatoio sono state effettuate delle elaborazioni in ArcView. Le isoipse sono state tagliate tramite una spezzata in corrispondenza della sezione che si intende sbarrare. Si è fatto ricorso alla compilazione dello script "Chiusura Poligoni" e successivamente alla sua esecuzione per ottenere un nuovo tematismo poligonale. Il nuovo tematismo (che è stato nominato "Manubiola") rappresenta le superfici ideali a quota costante generate dalle isoipse con passo 5 metri (si veda la figura successiva).



Il volume del serbatoio è ottenuto come integrale di queste superfici sull'altezza della diga, ovvero discretizzando come sommatoria delle aree per il loro spessore (5 metri). Per calcolare l'area delle superfici appena generate si è fatto ricorso alla compilazione ed esecuzione dello script "Calcolo Area", il quale ha permesso di aggiungere alla tabella del tematismo un nuovo campo riportante i valori di area per ogni poligono. La tabella è stata poi esportata in Excel dove si è ottenuto il volume del serbatoio:

$$W = \sum (A_i \times 5) = 5 \times \sum A_i = 41 \times 10^6 m^3$$

Lo studio della vallata a questo punto è ultimato. Tutti i dati utilizzati, le formule adottate e i risultati ottenuti sono stati riportati nel foglio di lavoro excel, in modo da poter in qualsiasi momento effettuare correzioni o verifiche.

5.4.7 Serbatoi di compensazione

Per visualizzare la topologia dell'interconnessione è stato redatto un tematismo puntuale riportante i nuovi invasi. In questo modo è stato possibile individuare i tratti scoperti, ossia quei tratti ove le tubature che mettono in comunicazione due invasi successivi risultano essere più lunghe (in pianta) di 40 km.

Quando la distanza tra due invasi successivi è superiore a 40 km, per evitare di avere condotte troppo lunghe con i disagi che ne conseguono, si rende opportuno prevedere dei serbatoi di compensazione. Tali invasi possono contenere volumi anche inferiori a 10 milioni di m³, purché sufficienti a svolgere la funzione di compenso, perché la funzione di accumulo è svolta dagli invasi già dimensionati nella fase precedente.

La scelta dei siti che dovranno accogliere i serbatoi di compensazione è stata fatta in base alla posizione rispetto all'opera di interconnessione. Si sono scelte vallate che permettessero di interrompere le condotte eccessivamente lunghe.

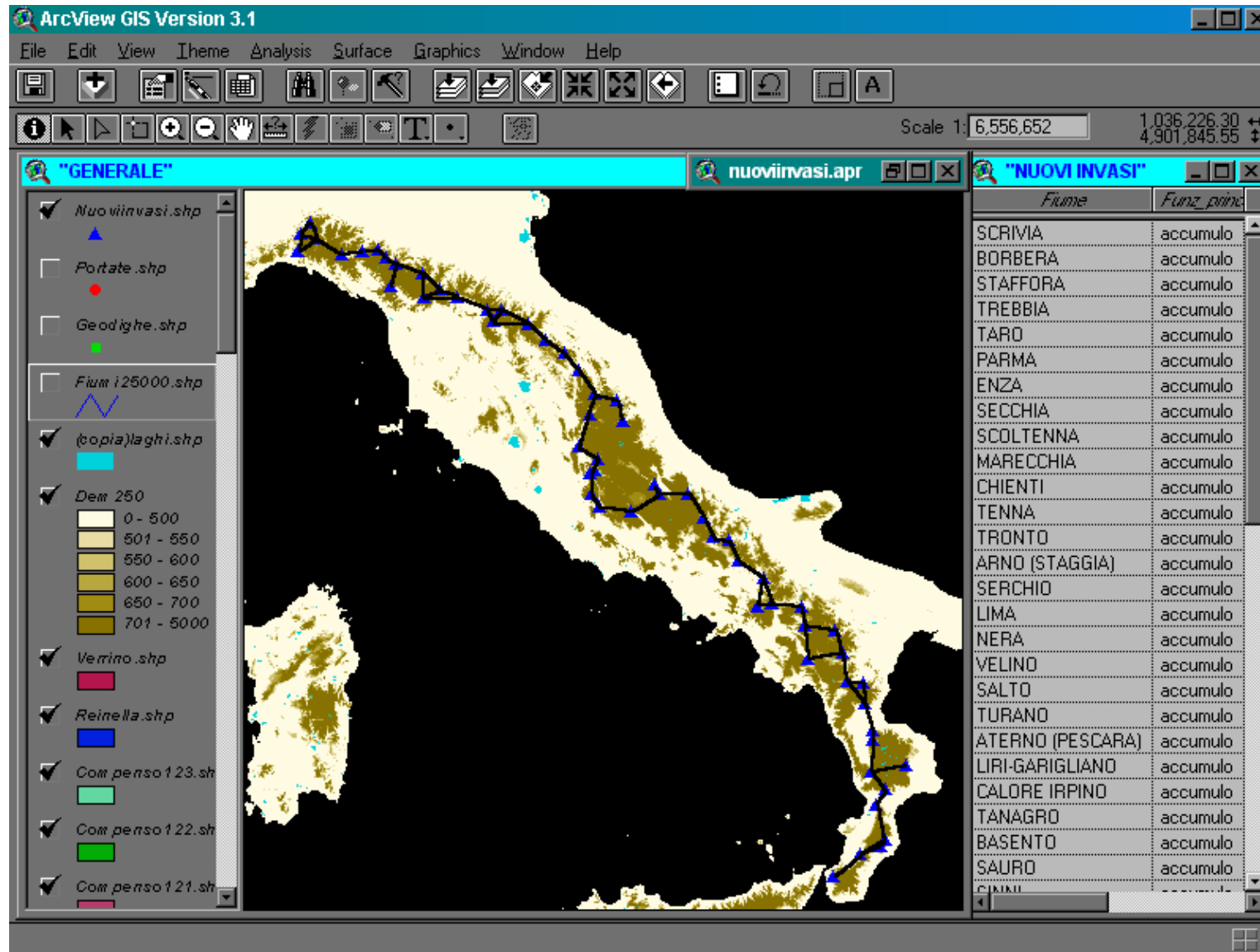
Le elaborazioni effettuate su queste vallate sono analoghe a quelle già descritte per gli altri invasi, salvo che in questo caso non era necessario rispettare il vincolo di volume non inferiore a 10 milioni di m³. Si è provveduto ad ampliare il foglio di lavoro riportando i nuovi dati.

5.4.8 Generalità dell'interconnessione

Sommando i risultati ottenuti per le singole vallate si è ottenuto il volume totale invasato lungo tutto il percorso dell'interconnessione, e il volume totale delle dighe, utile per una stima economica del costo dell'opera. Nel calcolo si è tenuto conto sia dei primi invasi (con funzione principale di accumulo) sia di quelli aggiunti in seguito (con funzione principale di compenso). In totale sono stati previsti 60 nuovi invasi, per una capacità di invaso totale di poco superiore a un miliardo di m³ d'acqua.

È stato aggiornato il tematismo "Nuovi Invasi" della omonima proiezione, in modo tale da visualizzare sulla cartografia il tracciato di primo tentativo dell'opera.

Non sono stati posti vincoli sulla struttura della rete perché ai minori costi che comporterebbe una struttura ramificata si contrappone la maggiore affidabilità di una struttura magliata. Di conseguenza è stata adottata la configurazione magliata nei tratti dove è possibile la realizzazione di maglie senza ricorso a condotte eccessivamente lunghe (ovvero nel caso di invasi non più distanti di 40 km tra loro), preferendo la configurazione ramificata nei restanti tratti. Per consentire le operazioni di manutenzione (sia ordinaria che straordinaria) senza dover interrompere la connessione si prevede di effettuare per ogni invaso un bypass che permetta di unire le condotte confluenti nello stesso.



La proiezione “NuoviInvasi.apr” (in figura nella pagina precedente) riporta la configurazione di massima dell’opera di interconnessione, sulla quale verrà eseguita la valutazione dei costi di realizzazione.

5.4.9 *Necessità di ulteriori elaborazioni*

Nella scelta dei siti destinati ad accogliere i nuovi invasi per il momento si è data la precedenza ai siti maggiormente idonei per il regime di portate, riservandosi in un secondo tempo di modificare il tracciato dell’opera ove si rivelasse opportuno. Sarebbe inevitabile in uno studio di maggior dettaglio la consultazione delle ortofoto del territorio e della mappatura del rischio di frane e inondazioni. Questo per evitare di intervenire in zone antropizzate o a rischio frane e andare ad agire nei siti in cui è maggiormente necessaria una mitigazione delle piene.

Le elaborazioni sulla cartografia delle vallate idonee per i nuovi invasi sono state effettuate sul modello digitale del territorio “dem250”, che rappresenta il territorio come una griglia di quadrati di lato 250 metri ciascuno a quota uniforme. È stato utilizzato questo supporto per le difficoltà di reperimento di una cartografia più dettagliata su scala nazionale. Risultati più significativi si potrebbero ottenere lavorando su cartografie di risoluzione più elevata, rivolgendosi all’IGM oppure sfruttando la cartografia che alcune regioni (non molte) hanno già provveduto a mettere on-line.

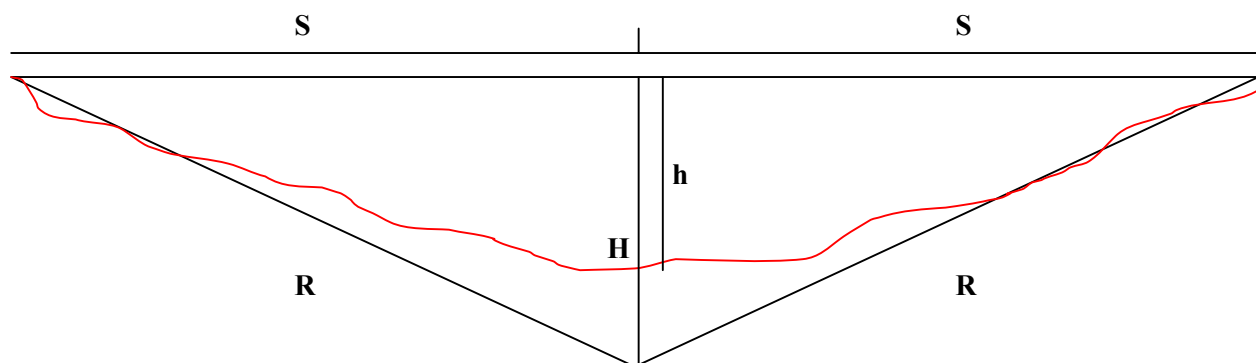
5.5 Valutazione dei costi di realizzazione

Il volume bruto degli invasi (distinto da quello utile che è dell’ordine di 1 Mld di metri cubi) è stimabile in 2 Mld di metri cubi.

Per la valutazione della lunghezza delle gallerie è stato redatto un nuovo tematismo in ArcView. Le gallerie sono state rappresentate tramite una spezzata che si mantiene ove possibile sopra la quota di 500 m s.l.m., in modo da non dover realizzare lunghi tratti di condotta in viadotto o in sifone. Si è in seguito proceduto a calcolare la lunghezza dei rami di spezzata a mezzo di uno script di ArcView.

Si è ritenuto opportuno applicare un coefficiente maggiorativo alla lunghezza totale così ottenuta, infatti lavorando in pianta (in 2D) si sottostima la lunghezza effettiva, la quale può essere maggiore nel caso di attraversamenti di vallate tramite sifone. Il coefficiente correttivo è definito come $C = 2R / 2S$. Dove $2R$ è la lunghezza reale della galleria e $2S$ è la sua lunghezza in pianta.

Lungo tutto il tracciato dell’interconnessione solo in cinque casi le gallerie sono costrette ad attraversare una vallata in sifone. Si è deciso di schematizzare la sezione della vallata generica da attraversare con un triangolo isoscele, infatti controllando la planimetria il punto più depresso della sezione si trova in tutti i casi in prossimità del punto medio della vallata. Ne risulta lo scema raffigurato:



Sulla cartografia è possibile misurare la lunghezza in pianta dell'attraversamento in sifone, ovvero il valore $2S$, e la quota del punto più depresso della vallata, ossia il valore di h .

Per evitare di sottostimare la lunghezza reale della galleria ($2R$) si è utilizzata come altezza del triangolo isoscele il valore $H = 1.5 \times h$. Come si vedrà più avanti questa scelta porterà a sovrastimare il coefficiente maggiorativo.

Il coefficiente correttivo risulterebbe quindi (stimato in eccesso):

$$C = \frac{R}{S} = \frac{\sqrt{H^2 + S^2}}{S} = \sqrt{\frac{H^2 + S^2}{S^2}} = \sqrt{\frac{H^2}{S^2} + 1}$$

Per le cinque vallate in oggetto i dati misurati sono i seguenti:

2S	700	1200	1800	32000	15000
h	70	180	160	480	400
H	105	270	240	720	600
H/2S	0.15	0.225	0.13	0.0225	0.04
H/S	0.075	0.1125	0.065	0.01125	0.02

Il rapporto H/S vale in media 0.28, si è quindi deciso di arrotondarlo a **0.3**. Ne risulta un coefficiente correttivo pari a:

$$C = \sqrt{0.3^2 + 1} = 1.044$$

Tale coefficiente correttivo (stimato per eccesso) è il coefficiente che moltiplicato per la lunghezza misurata in pianta fornisce la lunghezza reale della galleria nell'attraversamento a sifone. Il suo valore è piuttosto esiguo, inoltre andrebbe applicato a una lunghezza totale delle gallerie in sifone pari a **50700 m** (perché nei tratti restanti la lunghezza in pianta coincide pressoché con quella reale), che equivale a circa il **3%** della lunghezza totale delle condotte. Si ritiene dunque non necessario l'utilizzo di un coefficiente maggiorativo.

Alla lunghezza totale ottenuta è stata aggiunta la lunghezza delle condotte da impiegare per effettuare i bypass, necessari per permettere le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria degli invasi. Tale lunghezza è stata stimata (per eccesso) in 1.5 volte la lunghezza del coronamento delle dighe.

La lunghezza totale delle gallerie così calcolata risulta essere dell'ordine dei 1800 Km.

Tenendo conto che per una galleria di 20 Km, quindi piuttosto lunga, il costo medio è di circa 5000 Euro/metro e di 8500 Euro/metro rispettivamente per diametri di 4 e 6 metri, il costo totale delle opere in galleria, scegliendo il diametro di 4 m, è valutabile in $G = 1.8 \times 10^6 \times 5000 = 9 \times 10^9$ €.

Tale costo viene assunto supponendo che gli eventuali tratti di collegamento in viadotto o in sifone siano a) di lunghezza limitata rispetto alla lunghezza totale dei collegamenti in galleria e b) che il costo unitario medio sia assimilabile a quello sopra citato.

Per quanto riguarda gli invasi si fa riferimento non tanto al costo della diga ma a quello dell'intera opera (invaso+diga) valutato, secondo indicazioni ricevute da esperti progettisti del settore, in 40 – 50 Milioni di Euro per un invaso di 20 Milioni di metri cubi.

Di conseguenza il costo totale della realizzazione degli invasi viene valutato in

$$I = \frac{2 \times 10^9 \times 50 \times 10^6}{20 \times 10^6} = 5 \times 10^9 \text{ €}.$$

Per imprevisti e opere accessorie (ad esempio gli allacciamenti alle utenze finali: agricole, urbane, idroelettriche, ecc., la cui progettazione dovrà fare oggetto di eventuali studi ulteriori) si prevedono spese aggiuntive pari al 20% del totale $G + I = 14 \times 10^9$ €, ossia $S = 2.8 \times 10^9$ €.

L'ordine di grandezza del totale generale viene pertanto stimato provvisoriamente in $G + I + S = 16.8 \times 10^9$ €, cui deve comunque essere aggiunto il costo della realizzazione dell'organismo di gestione della rete di interconnessione idrica.

Tale totale (circa 17 Mld di €) non appare eccessivo, tenendo conto delle finalità dell'opera, dei tempi lunghi di realizzazione (non meno di 15-20 anni) e del costo di grandi opere di ingegneria idraulica già realizzate o in corso di realizzazione (impianto delle Tre Gole in Cina: circa 30 Mld di €; GMRP libico: circa 25 Mld di \$, realizzazione in 25 anni; progetto di trasferimento delle acque da Sud a Nord in Cina: circa 8 Mld di €, realizzazione in circa 20 anni) o di altre grandi infrastrutture in progetto nel nostro Paese (Ponte sullo Stretto di Messina: circa 6 Mld di €).

Considerazioni a parte andranno poi fatte sui costi di esercizio e sui benefici attesi nell'anno medio rappresentativo (v. § seguente), attualizzando le rispettive poste positive e negative su una prevedibile durata dei ritorni e dei gravami economici, per renderli omogenei con i costi di investimento da stanziare per la realizzazione dell'opera.

6 CONCLUSIONI

Pur nei limiti che le circostanze e le difficoltà incontrate hanno imposto alla presente fase dello studio, appare chiaramente che l'opera immaginata può essere calata sul territorio in una configurazione che, anche se non necessariamente coincidente con quella qui identificata⁵, ne consenta la progettazione esecutiva ed in prospettiva la redazione di un piano tecnico-finanziario di realizzazione.

I costi appaiono in linea con quanto ipotizzato preliminarmente alla redazione del presente Rapporto e certamente paragonabili alle spese incorse annualmente per far fronte alle conseguenze dei dissesti idrogeologici che un'opera di questo genere potrebbe largamente evitare o sostanzialmente mitigare.

Resta però da valutare la compatibilità dello sviluppo topografico delle opere con gli insediamenti e le infrastrutture esistenti, tenendo quindi conto dei vincoli stretti che l'antropizzazione spinta del nostro territorio può imporre alla collocazione degli invasi ed al tracciato dei collegamenti. Queste considerazioni potrebbero far lievitare, anche in misura sensibile, i costi valutati nel § precedente (si pensi solo al costo degli espropri e degli indennizzi).

Restano però da valutare quantitativamente i benefici apportati dalla presenza dell'opera all'economia nazionale ed in generale alla gestione delle emergenze idrogeologiche. Si può anticipare che questi benefici, qualitativamente già esposti nella Premessa e da questo punto di vista abbastanza evidenti ed indiscutibili, risulteranno di difficile valutazione, sia per il reperimento dei dati primari (deficit di approvvigionamenti idrici dovuti a episodi ricorrenti di siccità, danni evitati al territorio ed alle infrastrutture, comprese le reti di trasporto dell'energia e gli impianti di generazione, in occasione di piene elevate od eccezionali) che per la previsione dell'evoluzione futura delle variabili climatologiche differenziate per differenti regioni del territorio nazionale. Tuttavia, in un'ottica di espansione degli obiettivi e delle finalità del presente studio che si articoli, necessariamente, in un programma di lavoro pluriennale, le difficoltà accennate non appaiono insuperabili.

Si auspica pertanto che sia possibile reperire e destinare le risorse umane e finanziarie necessarie a proseguire nello studio, con la precisa finalità di arrivare ad uno studio di fattibilità più completo ed articolato che includa anche un attendibile bilancio costi/benefici.

⁵ Sarà infatti necessario procedere ad una ottimizzazione dell'ubicazione dei serbatoi e dei tracciati dei collegamenti, sotto i vincoli posti dalle condizioni topografiche e geologiche nonché dall'esistenza di insediamenti abitativi o industriali di una qualche importanza, di infrastrutture, vie di comunicazione ed installazioni di importanza strategica in genere.

7 ALLEGATO: IL PROBLEMA DEI TRANSITORI IDRAULICI NEL SISTEMA

7.1 Posizione qualitativa del problema: necessità di studiare il comportamento dinamico del sistema. Diversi tipi di transitori (input da piene locali, output da emungimenti locali...)

In un sistema idraulico delle dimensioni proposte un'attenzione particolare va posta ai tempi di risposta e di messa a regime ed all'evoluzione spazio-temporale dei transitori generati da eventi non spazialmente e temporalmente omogenei quali possono essere gli apporti od i prelievi localizzati, gli svassi, le precipitazioni, ecc.

Le dimensioni del sistema e la variabilità spazio-temporale delle vicende locali che impattano direttamente sui singoli serbatoi portano come conseguenza che il sistema stesso sarà soggetto a frequenti e lunghi transitori, talché avrebbe poco senso studiarne il comportamento con un modello che consideri esclusivamente regimi di moto permanente.

E' evidente in particolare che dimensionamenti non calibrati sul comportamento in transitorio potrebbero comportare tempi di risposta eccessivamente lunghi che tra l'altro potrebbero causare il verificarsi di eccessivi dislivelli tra i vari serbatoi oppure pendolazioni tra l'uno e l'altro eccessivamente protratte nel tempo.

Si è pertanto ritenuto opportuno simulare numericamente il comportamento dinamico del sistema per un numero discreto ma comunque sufficientemente rappresentativo di eventi:

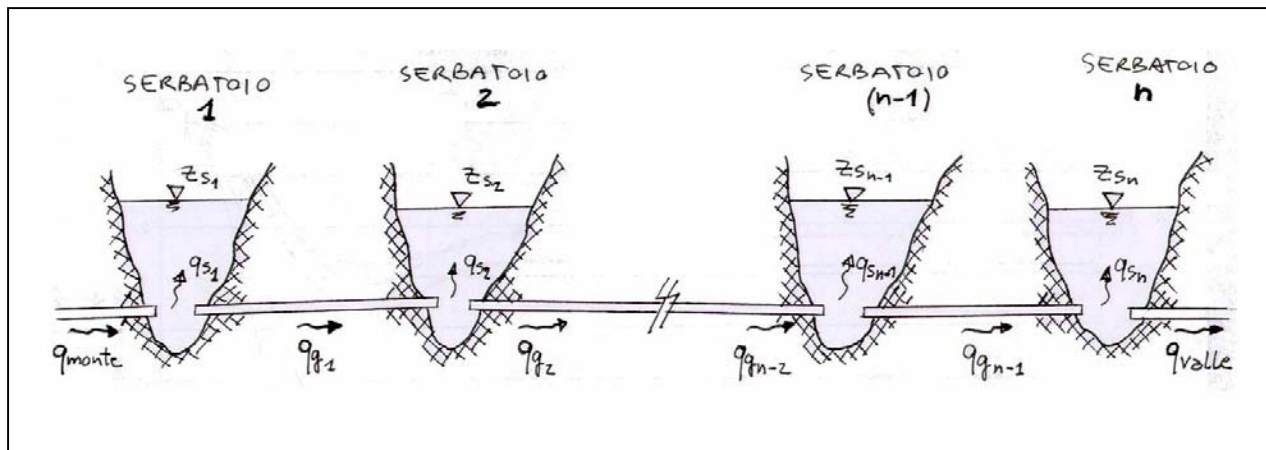
- prelievi da una delle estremità o da un nodo intermedio;
- apporti fluviali (piene) presso una delle estremità od in un nodo intermedio;
- svasso di uno dei serbatoi (localizzato presso una delle estremità o presso un nodo intermedio);
- apporti meteorici estremi (presso una delle estremità od in un nodo intermedio).

Le simulazioni sono state condotte sulla configurazione del sistema come definita nei §§ precedenti utilizzando un codice sviluppato ad hoc che integra le equazioni di conservazione della quantità di moto e di continuità nell'ipotesi di incomprimibilità dell'acqua (moto d'insieme).

Un caso particolare riguarda il possibile sezionamento del sistema in due (o più) tronconi separati, caso che potrebbe verificarsi qualora uno dei serbatoi dovesse essere isolato dai suoi vicini di monte e di valle (tramite le paratoie di isolamento) per necessità di manutenzione. Anche i transitori che possono verificarsi in situazioni del genere sono ovviamente simulabili numericamente e sono di interesse per definire le possibili risposte del sistema, ma riguardano situazioni eccezionali che dovrebbero verificarsi solo raramente e per brevi periodi di tempo; per tali situazioni sono ammissibili risposte degradate rispetto a quelle del sistema integro.

7.2 Modello matematico

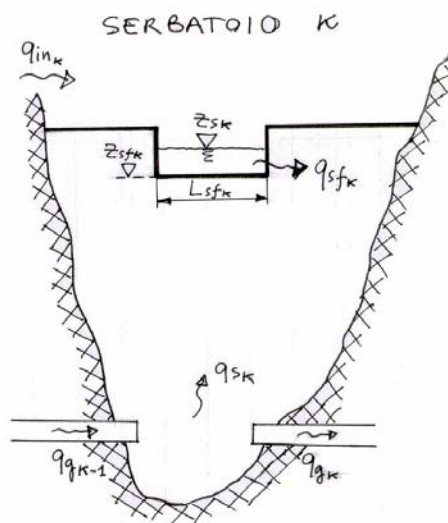
Si considera un sistema idraulico caratterizzato da "n" serbatoi in serie collegati tra loro da "n-1" gallerie in pressione secondo lo schema sottostante in cui sono riportate le convenzioni assunte per le portate positive.



7.3 Schema del circuito idraulico

Tutti i serbatoi risultano caratterizzati da due gallerie di collegamento: una in entrata ; una in uscita. Per i serbatoi estremi una delle due gallerie fornisce una portata che si presuppone nota (portate q_{monte} e q_{valle}).

Ogni serbatoio si presuppone caratterizzato da uno sfioratore e può essere interessato dall'immissione di una portata esterna nota o dal prelievo di una portata imposta. Queste specifiche sono riportate nello schema seguente.



Schema generalizzato di un ipotetico serbatoio

7.4 Legenda dei simboli utilizzati

z_{S_k} : livello di invaso per serbatoio k ;
 q_{g_k} : portata nella galleria k ;
 q_{S_k} : portata nel serbatoio k al nodo *galleria $k-1$ – serbatoio k - galleria k* ;
 q_{in_k} : portata esterna immessa o prelevata da serbatoio k ;
 q_{monte} : portata al serbatoio 1 da galleria di monte;
 q_{valle} : portata al serbatoio n da galleria di valle;
 z_{sf_k} : quota soglia sfioratore in serbatoio k ;
 L_{sf_k} : lunghezza utile sfioratore in serbatoio k ;
 q_{sf_k} : portata sfiorata da sfioratore in serbatoio k ;
 μ_k : coefficiente di efflusso per sfioratore in serbatoio k ;
 L_{g_k} : lunghezza galleria k ;
 D_{g_k} : diametro galleria k ;
 A_{g_k} : sezione galleria k ;
 K_{S_k} : coefficiente di Strickler per galleria k ;
 K_{c_k} : coefficiente di perdita di carico concentrata per galleria k ;
 A_{s_k} : sezione della superficie di pelo libero per serbatoio k relativo alla quota z_{S_k} .

Considerando note le portate q_{monte} , q_{valle} e q_{in_k} , $1 \leq k \leq n$, il sistema è caratterizzato dalle seguenti incognite :

- q_{g_k} $1 \leq k \leq n-1$;
- z_{S_k} $1 \leq k \leq n$;
- q_{S_k} $1 \leq k \leq n$;
- q_{sf_k} $1 \leq k \leq n$;

La soluzione del sistema richiede quindi $4n - 1$ equazioni.

7.5 Equazioni per le quantità di moto nelle gallerie

$$\frac{L_{gk}}{g A_{gk}} \frac{dq_{gk}}{dt} = z_{S_k} - z_{S_{k+1}} - \Delta H_{gk} - \Delta H_{ck} \quad (1 \leq k \leq n-1)$$

dove

- L_{gk} è la lunghezza della galleria di indice k ;
- g è l'accelerazione di gravità;
- A_{gk} è la sezione della galleria di indice k .

ΔH_{gk} rappresenta la perdita di carico dovuta alla scabrezza della galleria k mentre, ΔH_{ck} è la perdita di carico complessiva dovuta a resistenze concentrate nella galleria k (ad esempio perdite di imbocco e sbocco ai serbatoi).

ΔH_{gk} e ΔH_{ck} possono essere espresse in funzione di q_{gk} secondo le seguenti relazioni non lineari :

$$\Delta H_{gk} = \frac{10.3 L_{gk}}{K_{sk}^2 D_{gk}^{5.333}} |q_{gk}| q_{gk}$$

$$\Delta H_{ck} = K_{ck} \frac{1}{2g A_{gk}^2} |q_{gk}| q_{gk}$$

dove

- D_{gk} è il diametro della galleria;
- K_{sk} è il coefficiente di scabrezza di Strickler;
- K_{ck} è il coefficiente adimensionale di perdita di carico concentrata.

7.6 Equazioni di continuità ai nodi del sistema galleria $k-1$ – serbatoio k – galleria k

$$q_{g1} + q_{s1} = q_{monte} \quad (\text{serbatoio } 1)$$

$$q_{gk-1} - q_{gk} - q_{sk} = 0 \quad (\text{serbatoio } k ; 2 \leq k \leq n-1)$$

$$q_{gn-1} - q_{sn} = q_{valle} \quad (\text{serbatoio } n)$$

7.7 Equazioni per i livelli nei serbatoi

$$A_{sk} \frac{dz_{sk}}{dt} = q_{sk} + q_{ink} - q_{sfk} \quad (1 \leq k \leq n)$$

dove

- A_{sk} è l'area della superficie di pelo libero alla quota z_{sk} .
- q_{ink} è la portata esterna al serbatoio k (q_{ink} è positiva se la portata è immessa nel serbatoio; q_{ink} è negativa se la portata è prelevata dal serbatoio). q_{ink} è una portata imposta.
- q_{sfk} è la portata che defluisce dallo sfioratore.

7.8 Relazioni per portate agli sfioratori

$$\text{se } z_{sk} \leq z_{sfk} \quad \Rightarrow \quad q_{sfk} = 0 \quad (1 \leq k \leq n)$$

$$\text{se } z_{sk} > z_{sfk} \quad \Rightarrow \quad q_{sfk} = \mu_k L_{sfk} \sqrt{2g} (z_{sk} - z_{sfk})^{3/2}$$

dove

- μ_k è il coefficiente adimensionale di efflusso dello sfioratore;
- L_{sf_k} è la lunghezza dello sfioratore;
- z_{sf_k} è la quota della soglia dello sfioratore.

7.9 Integrazione numerica

Le equazioni del modello descritto sono equazioni differenziali ordinarie per la cui soluzione è stato impiegato un procedimento analitico-numerico basato sugli sviluppi in serie troncate di Taylor come qui di seguito puntualizzato.

Per una generica funzione $u(t)$, continua con tutte le sue derivate nel dominio di interesse, valgono le seguenti relazioni :

$$u(t_k + \Delta t) = u_{k+1} = \sum_{n=0}^{\infty} \left. \frac{d^n u}{dt^n} \right|_k \frac{(\Delta t)^n}{n!} = \sum_{n=0}^{\infty} A_{n,k}$$

$$\left. \frac{du}{dt} \right|_{t_k + \Delta t} = \left. \frac{du}{dt} \right|_{t_{k+1}} = \sum_{n=0}^{\infty} \left. \frac{d^{n+1} u}{dt^{n+1}} \right|_k \frac{(\Delta t)^n}{n!} = \sum_{n=0}^{\infty} B_{n,k}$$

$$B_{n,k} = A_{n+1,k} \frac{n+1}{\Delta t}$$

Per il termine nonlineare u^2 vale la relazione

$$u^2(t_k + \Delta t) = u_{k+1}^2 = \sum_{n=0}^{\infty} \left. \frac{d^n u^2}{dt^n} \right|_k \frac{(\Delta t)^n}{n!} = \sum_{n=0}^{\infty} C_{n,k}$$

e, per la formula di Leibnitz, risulta

$$C_{n,k} = \sum_{j=0}^n A_{j,k} A_{n-j,k}$$

Se in una equazione differenziale ordinaria, caratterizzata da condizioni iniziali, con termini u , du/dt e u^2 si sostituiscono tali termini mediante i relativi sviluppi in serie di Taylor, si ottiene un'equazione algebrica. Estraendo da tale equazione algebrica i termini di pari ordine si perviene a delle relazioni che consentono di valutare in modo esatto i coefficienti delle serie.

L'errore che si commette seguendo tale procedura è dato dall'ordine di troncamento delle serie.

In attesa che venga definito il sistema con le sue capacità effettive e coi suoi collegamenti tra serbatoi, è apparso comunque significativo studiare il comportamento dinamico di un sistema altamente schematizzato in cui tutte le capacità siano uguali tra loro e le gallerie di collegamento abbiano lunghezza uniforme. In un modello semplificato di questo tipo è intanto possibile effettuare studi

parametrici per accertare l'influenza di scelte progettuali (quali ad esempio il diametro delle gallerie in pressione) sulle performance del sistema.

Il modello semplificato sul quale si sono condotte alcune simulazioni è caratterizzato da 40 serbatoi collegati da 39 gallerie in pressione con le specifiche indicate nei paragrafi che seguono.

7.10 Dati serbatoi

- Sezione superficie pelo libero (A_{s_k}) = $5 \times 10^5 \text{ m}^2$. Tale superficie si suppone costante con la quota che si prevede compresa tra 500 e 600 m s.m.
- Sfiatori :
 - coefficiente di efflusso (μ_k) = 0.41;
 - quota soglia (z_{sf_k}) = 595 m s.m.;
 - lunghezza sfioratore (L_{sf_k}) = 20 m.

7.11 Dati gallerie

- lunghezza (L_{g_k}) = 25000 m;
- diametro (D_{g_k}) = 3 m, 4 m, 5m;
- coefficiente di Strickler (K_{s_k}) = $90 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$;
- coefficiente di perdita di carico concentrata (K_{c_k}) = 1.5

Le simulazioni parametriche condotte inizialmente hanno inteso studiare l'influenza della scelta del diametro delle gallerie di interconnessione sullo svolgimento nel tempo dei transitori conseguenti al verificarsi di una piena in arrivo ad uno dei serbatoi di estremità del sistema (test TRANS1). In dettaglio, da una condizione iniziale di quiete (portate nelle gallerie nulle, portate esterne ai serbatoi nulle), con il livello statico nei serbatoi a quota 550 m s.m., si impone una portata in ingresso al serbatoio n. 1 che segue la seguente legge di variazione temporale :

t (h)	t (s)	qin ₁ (m ³ /s)
0	0	0
2	7200	150
10	36000	150
12	43200	0
∞	∞	0

In particolare si è ripetuta la simulazione del transitorio sotto tre ipotesi differenti riguardo alla scelta del diametro suddetto.

$D_{g_k} = 3 \text{ m}$

$D_{g_k} = 4 \text{ m}$

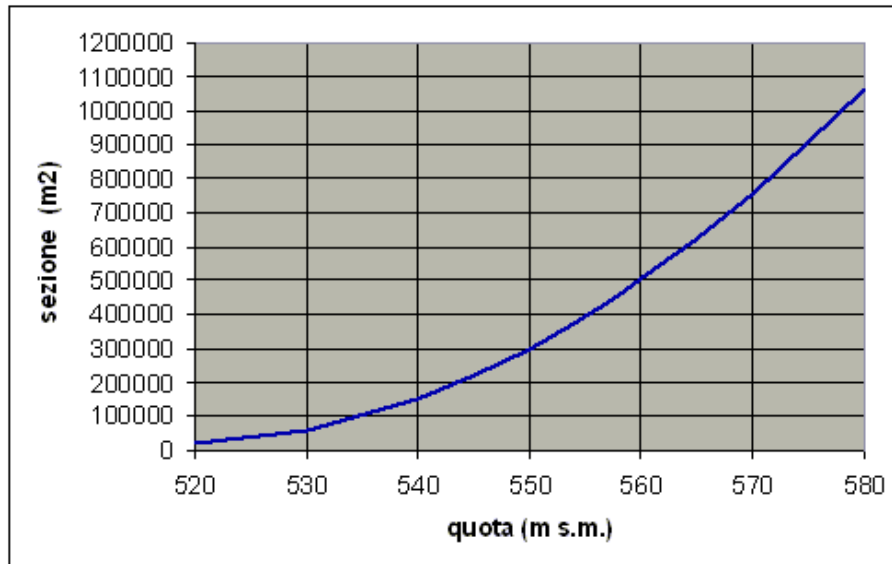
$D_{g_k} = 5 \text{ m}$

Inoltre si è condotta una ulteriore simulazione con il diametro intermedio $D_{g_k} = 4 \text{ m}$ e con l'immissione della piena nel punto medio del sistema (serbatoio n° 20) (test TRANS2).

[Notare che il volume totale delle gallerie è comunque notevolmente inferiore a quello dei serbatoi: ad esempio per $D = 4 \text{ m}$ il volume in questione è dell'ordine di 13 milioni di metri cubi mentre il volume totale dei serbatoi è dell'ordine dei miliardi di metri cubi; comunque il volume immagazzinato in galleria è destinato rimanere invariato salvo in circostanze eccezionali come lo svuotamento di tratti di

galleria per operazioni di manutenzione, cosicché non partecipa alla dinamica dello svuotamento e riempimento delle capacità del sistema].

In base ai risultati precedenti si è scelto provvisoriamente di adottare un diametro delle gallerie pari a 4 m, e per avere un maggiore realismo della simulazione si sono ripetuti i calcoli con questo unico valore del diametro ipotizzando una variabilità delle sezioni orizzontali del bacino tipo con la quota come indicato nel seguente grafico :



I relativi transitori (test TRANS1 e test TRANS2), ripetuti nelle stesse ipotesi e varianti utilizzate per i casi trattati in precedenza allo scopo di evidenziare l'influenza della scelta del diametro, sono riportati nelle Figg. da 33 a 48.

Per completezza, mantenendo le stesse caratteristiche del sistema, due ulteriori test relativi a prelievi dai serbatoi sono stati effettuati. Ossia :

- test TRANS3 considera un prelievo d'acqua dal serbatoio di estremità n.1;
- test TRANS4 considera un prelievo d'acqua dal serbatoio centrale n. 20.

Anche per questi test le condizioni iniziali del sistema sono di quiete (portate nelle gallerie nulle, portate esterne ai serbatoi nulle), con il livello statico nei serbatoi a quota 550 m s.m.

La legge temporale di prelievo assunta è rappresentata nella seguente tabella :

t (h)	t (s)	qin (m ³ /s)
0	0	0
2	7200	-100
10	36000	-100
12	43200	0
∞	∞	0

I risultati di questi ulteriori test sono rappresentati nelle Figg. da 49 a 64.

Le informazioni fornite dalle simulazioni effettuate appaiono confortanti dal punto di vista dei tempi di risposta e di messa a regime. Per il momento quindi, in attesa di una completa definizione delle

caratteristiche del sistema reale, si è ritenuto che le simulazioni effettuate siano sufficientemente esaustive."

I risultati della modellazione numerica sono riportati di seguito in forma grafica.

diametri gallerie di 3 m - test TRANS1

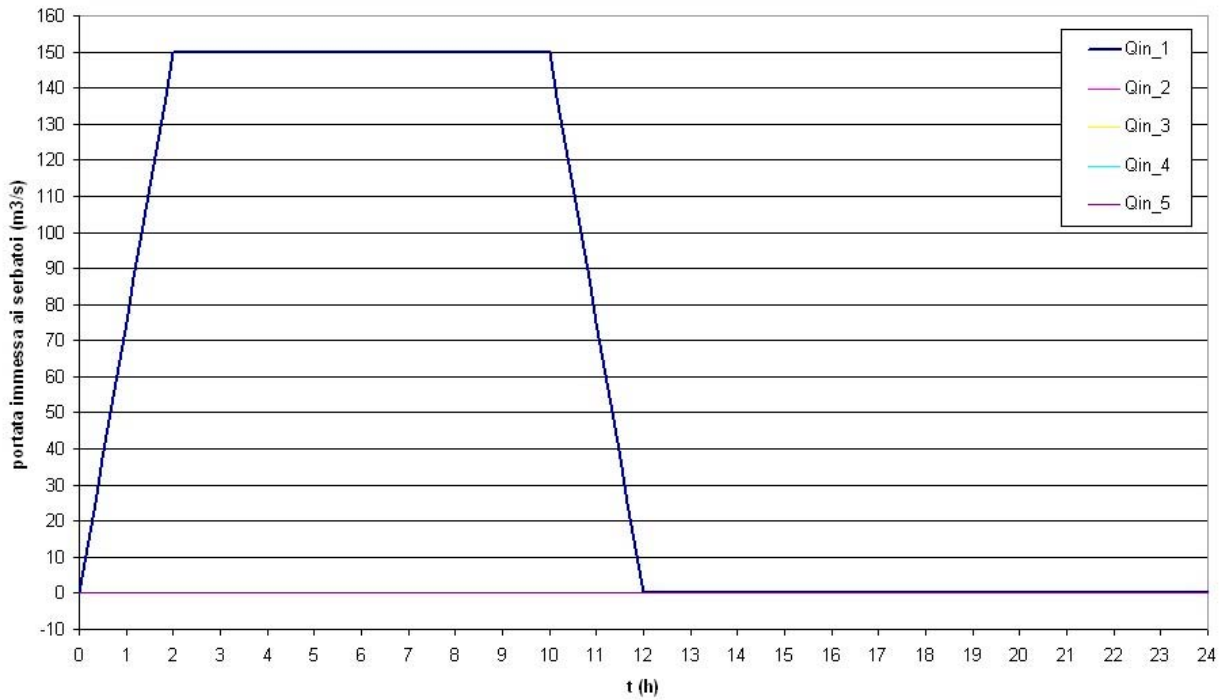


Figura 1

diametri gallerie di 3 m - test TRANS1

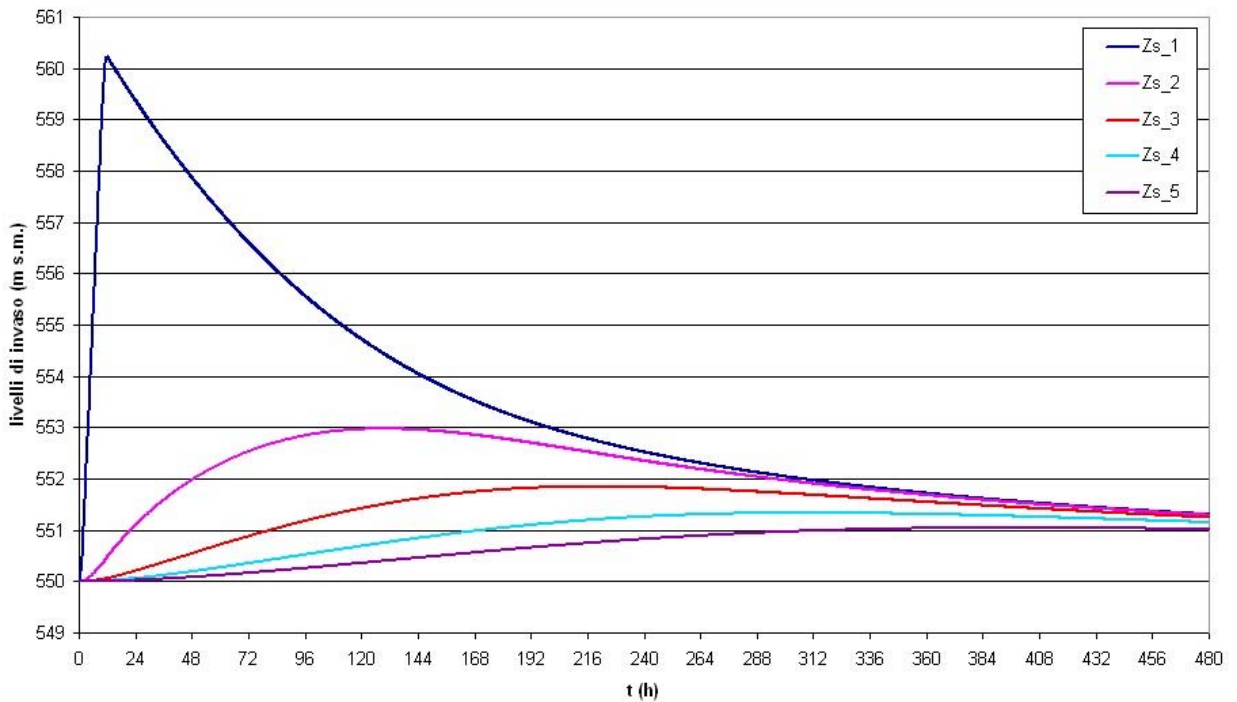
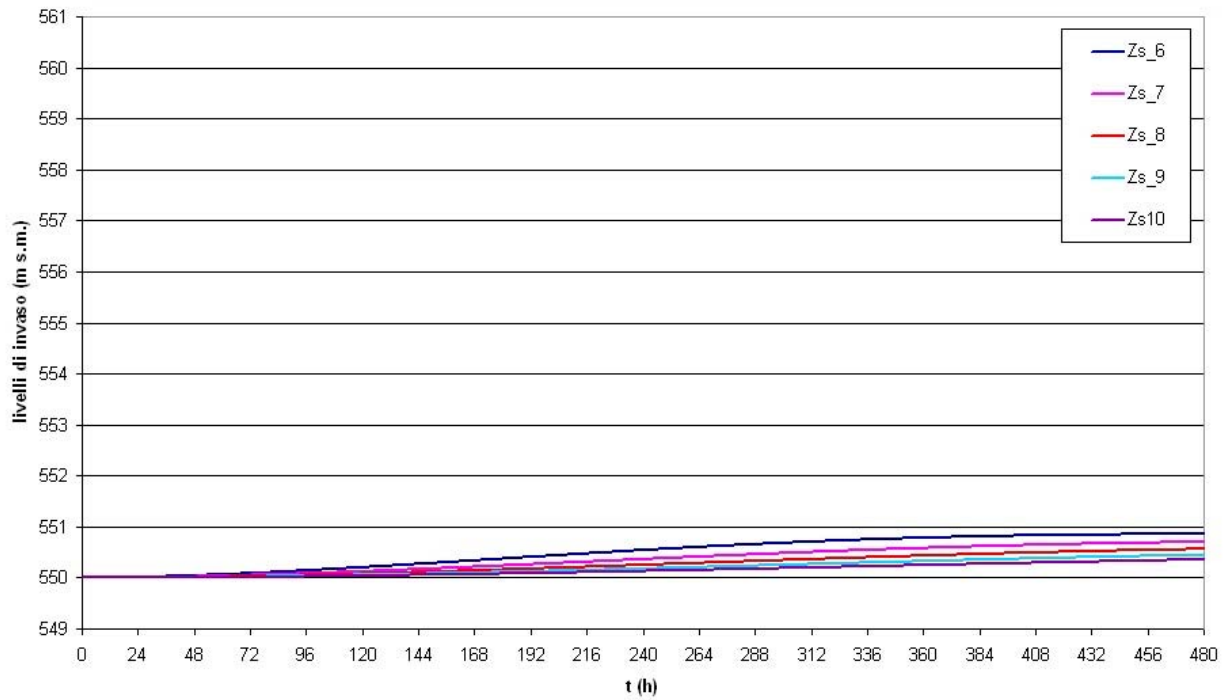
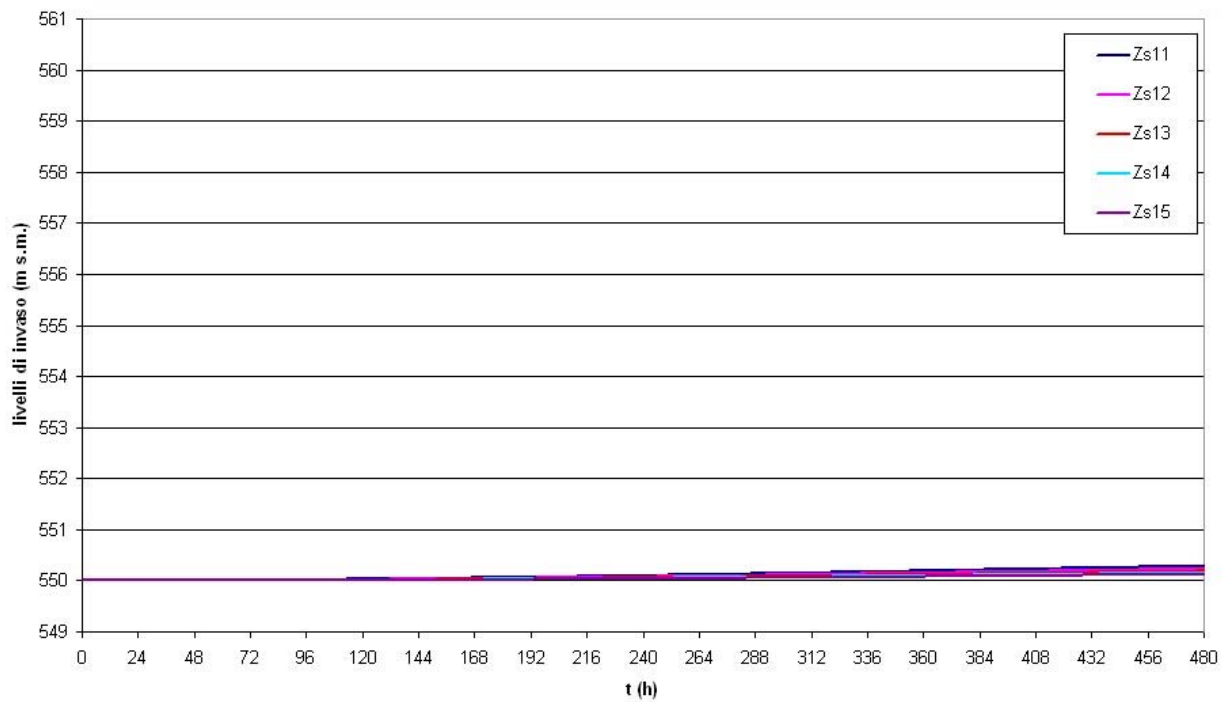


Figura 2

diametri gallerie di 3 m - test TRANS1**Figura 3****diametri gallerie di 3 m - test TRANS1****Figura 4**

diametri gallerie di 3 m - test TRANS1

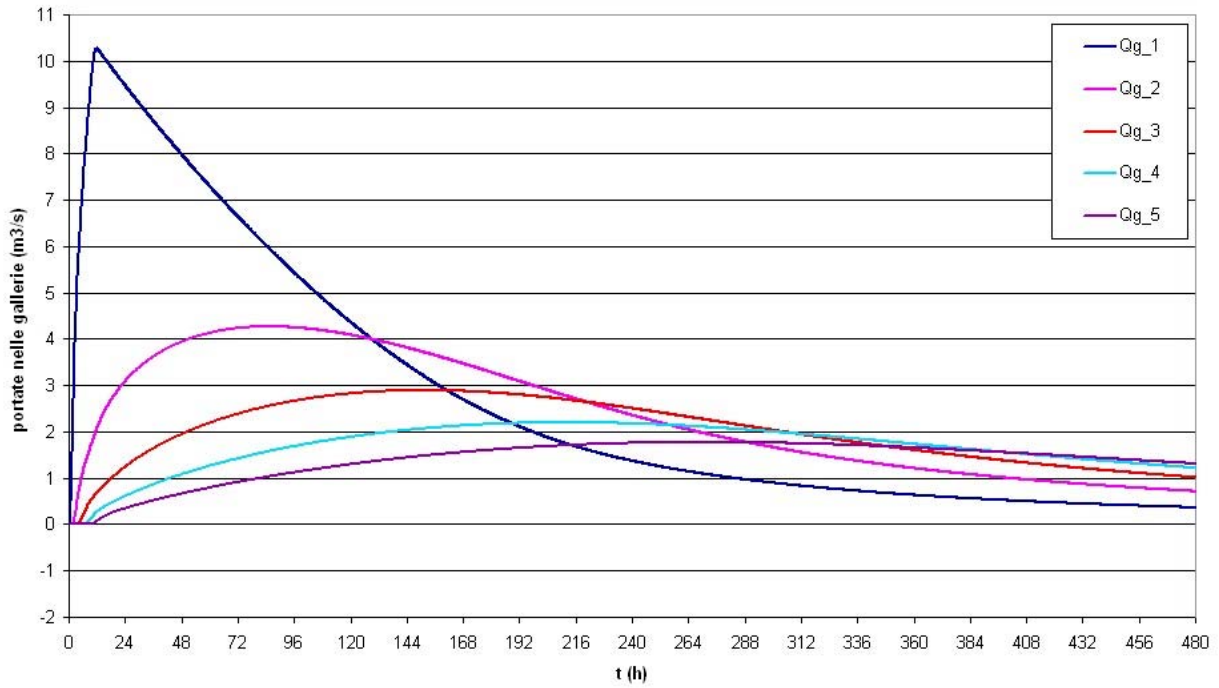


Figura 5

diametri gallerie di 3 m - test TRANS1

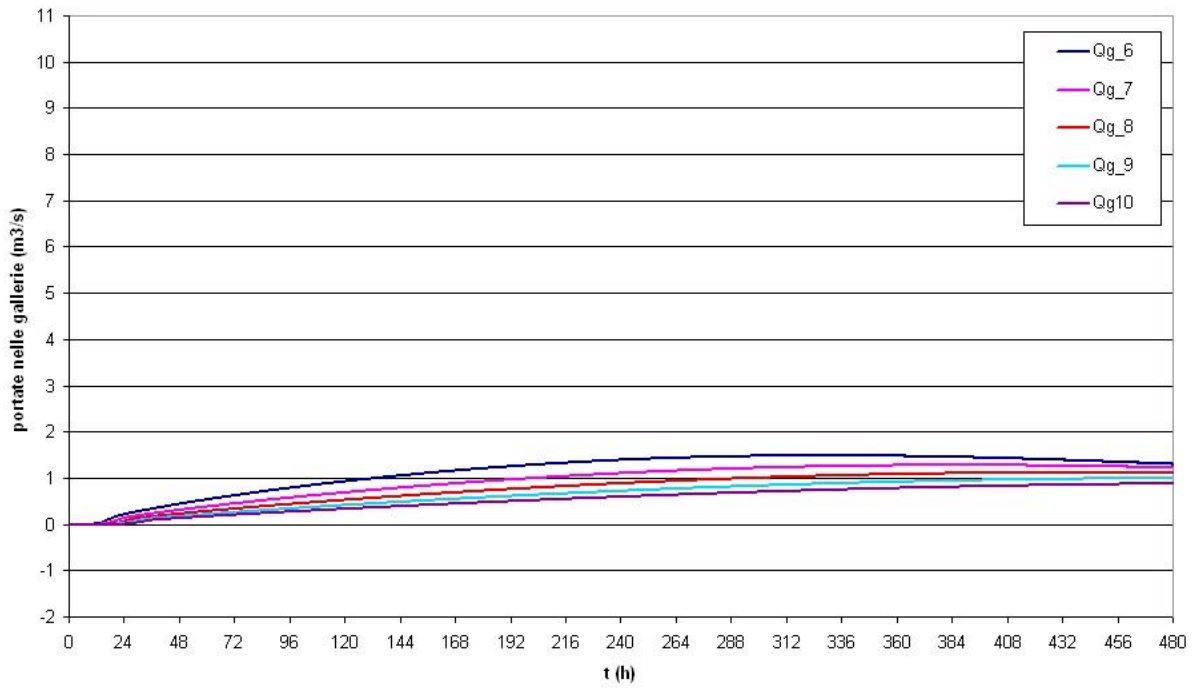


Figura 6

diametri gallerie di 3 m - test TRANS1

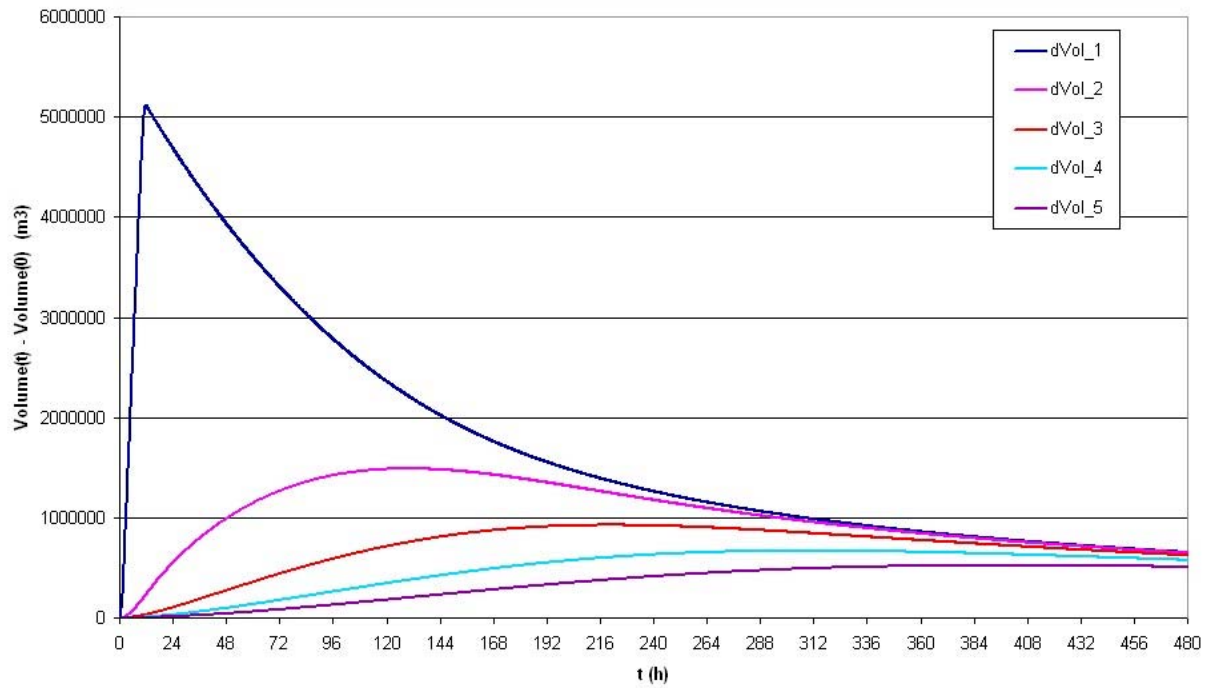


Figura 7

diametri gallerie di 3 m - test TRANS1

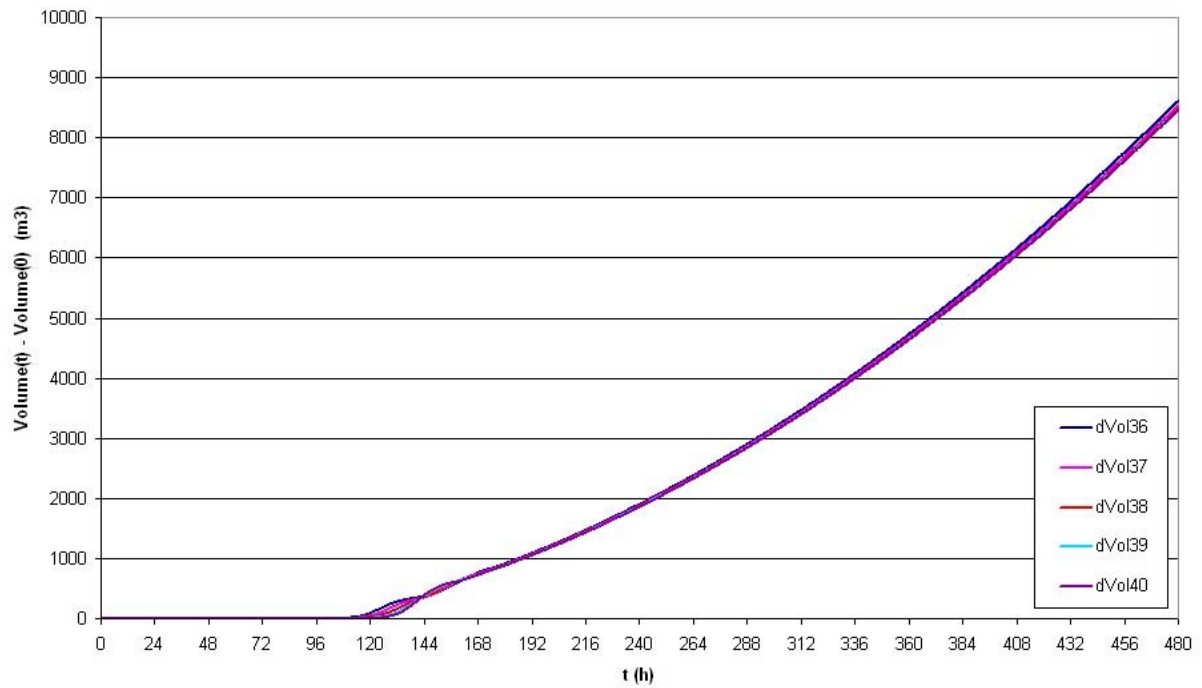


Figura 8

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1

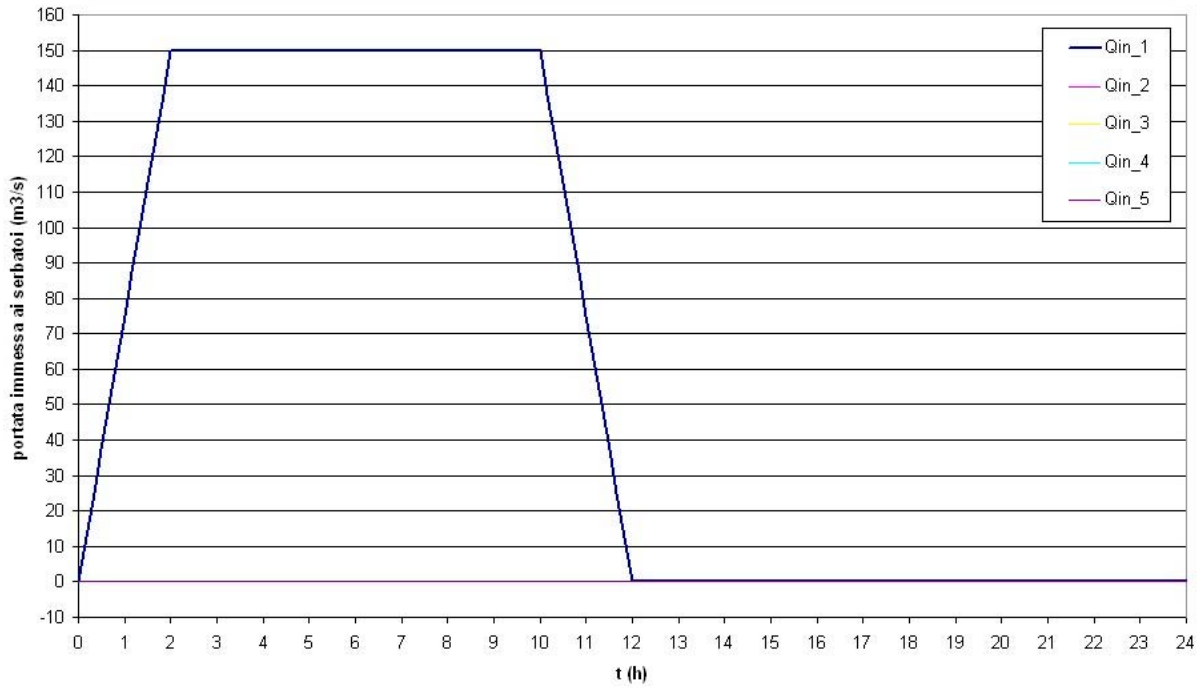


Figura 9

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1

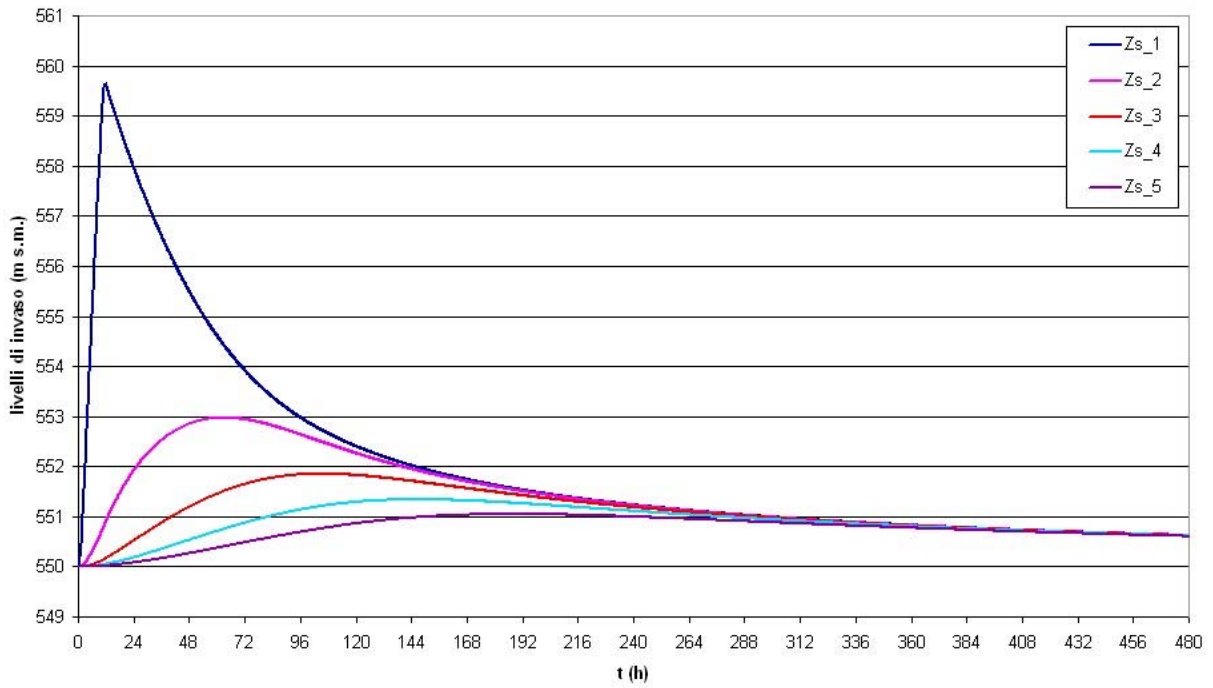


Figura 10

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1

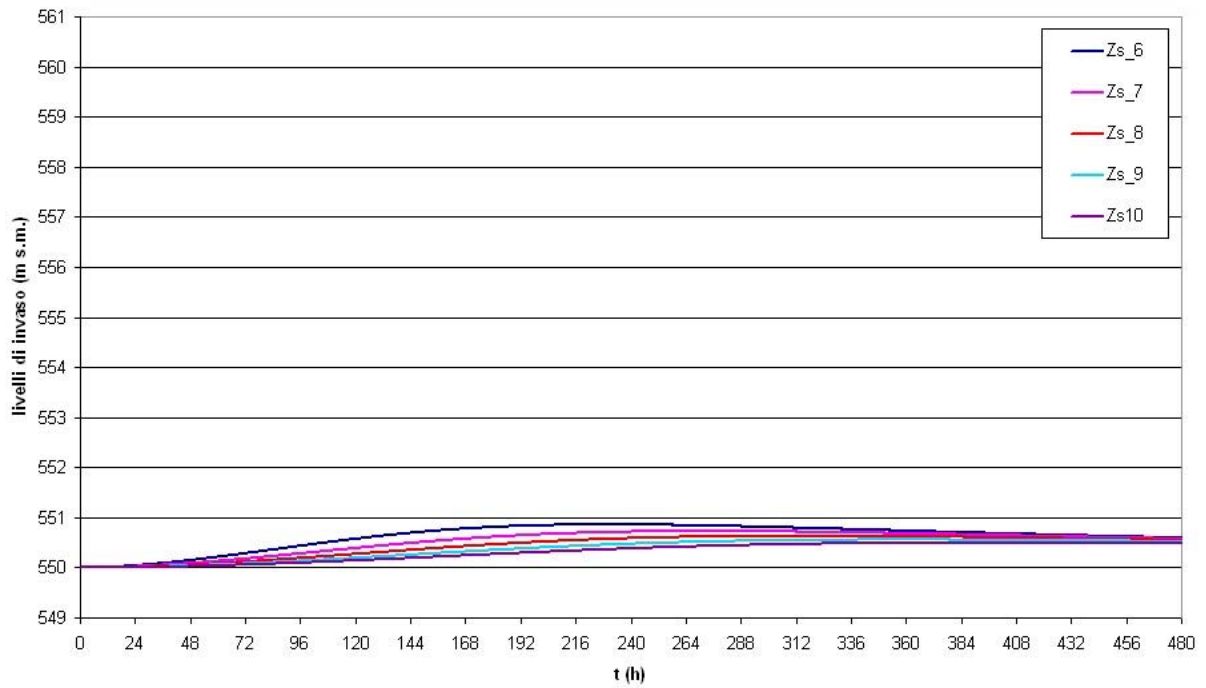


Figura 11

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1

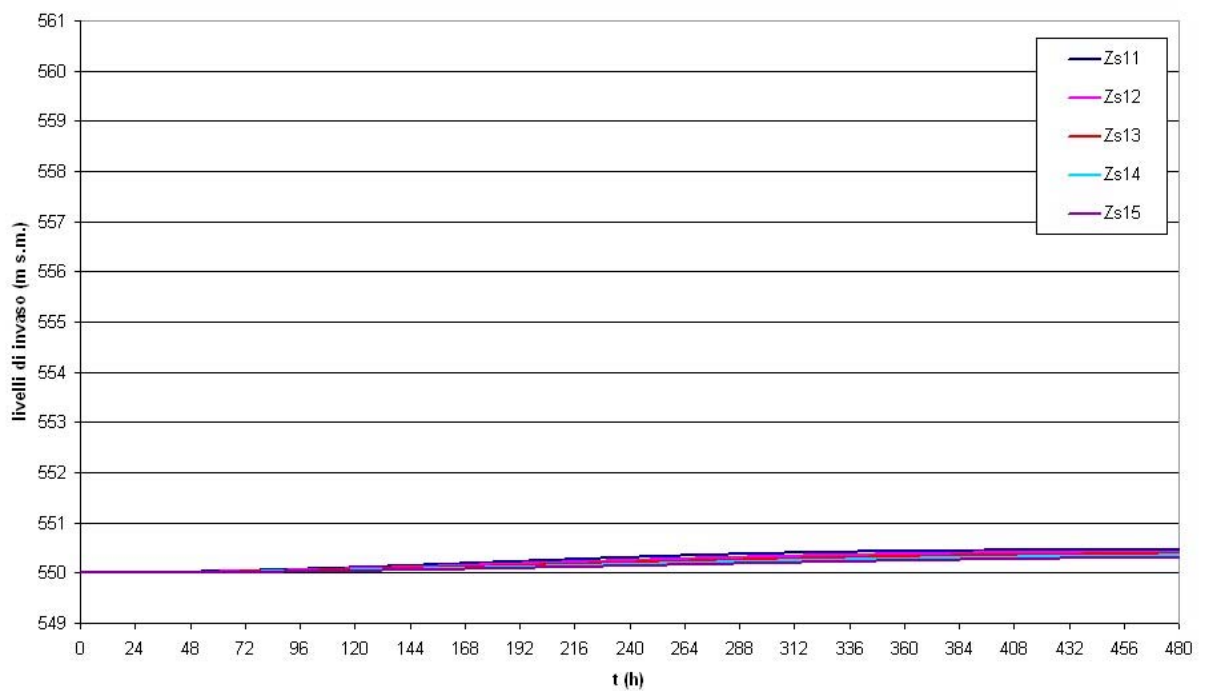


Figura 12

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1

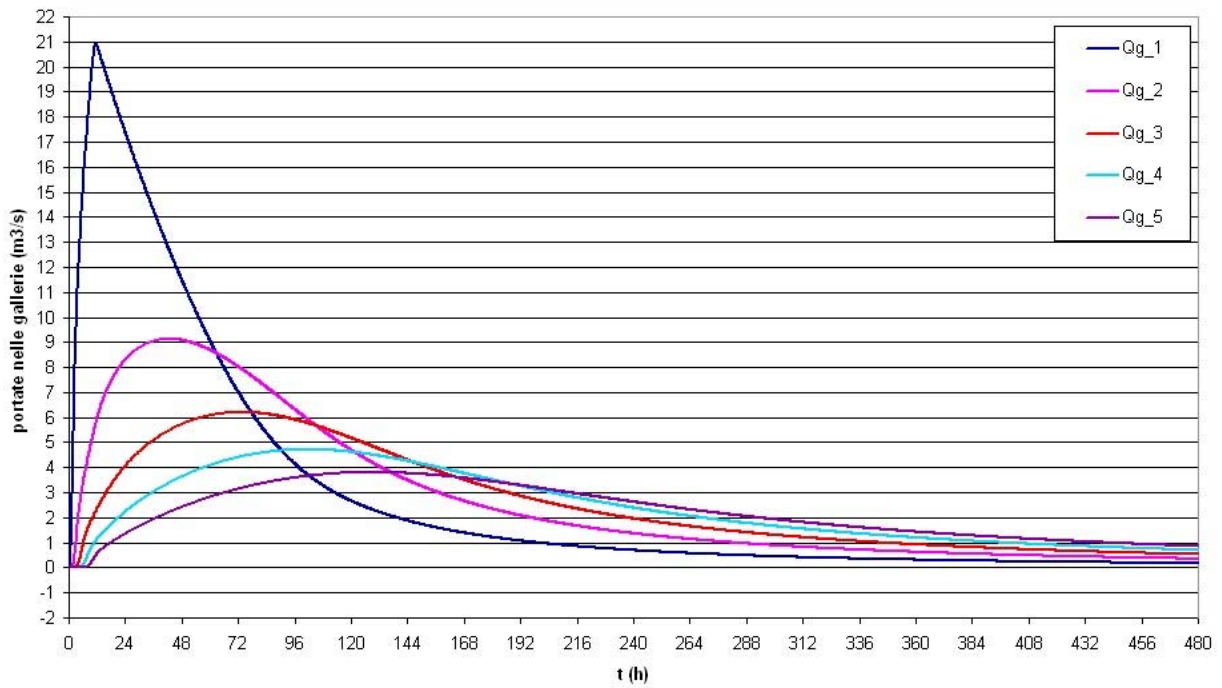


Figura 13

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1

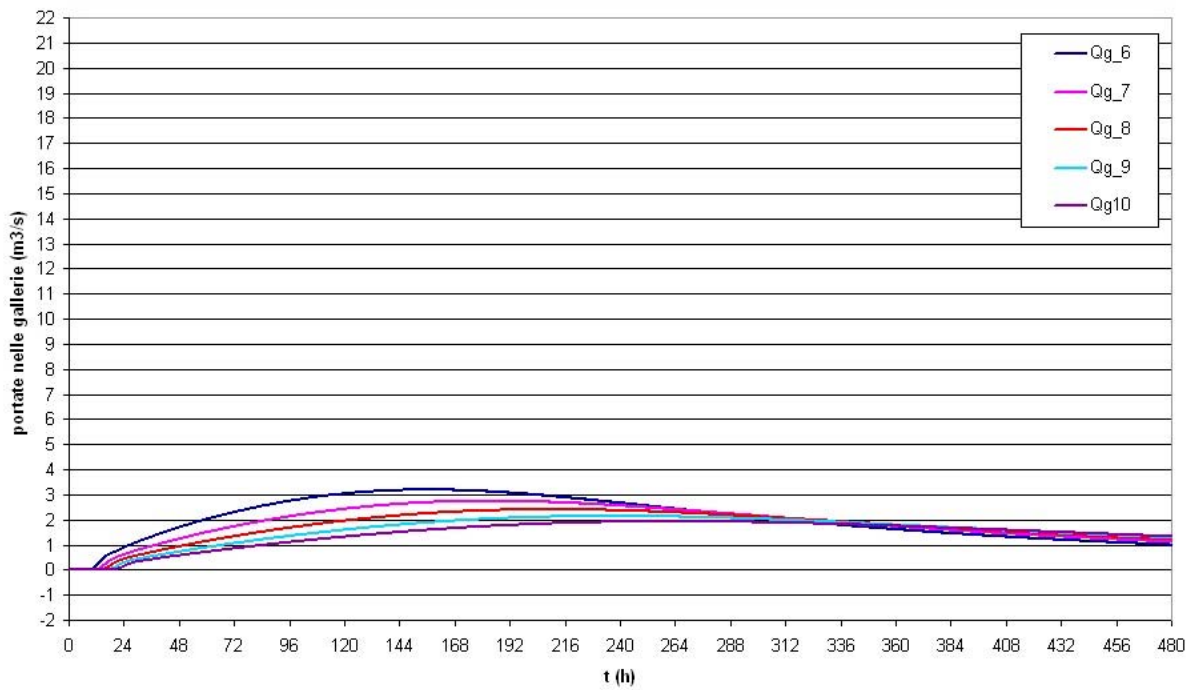


Figura 14

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1

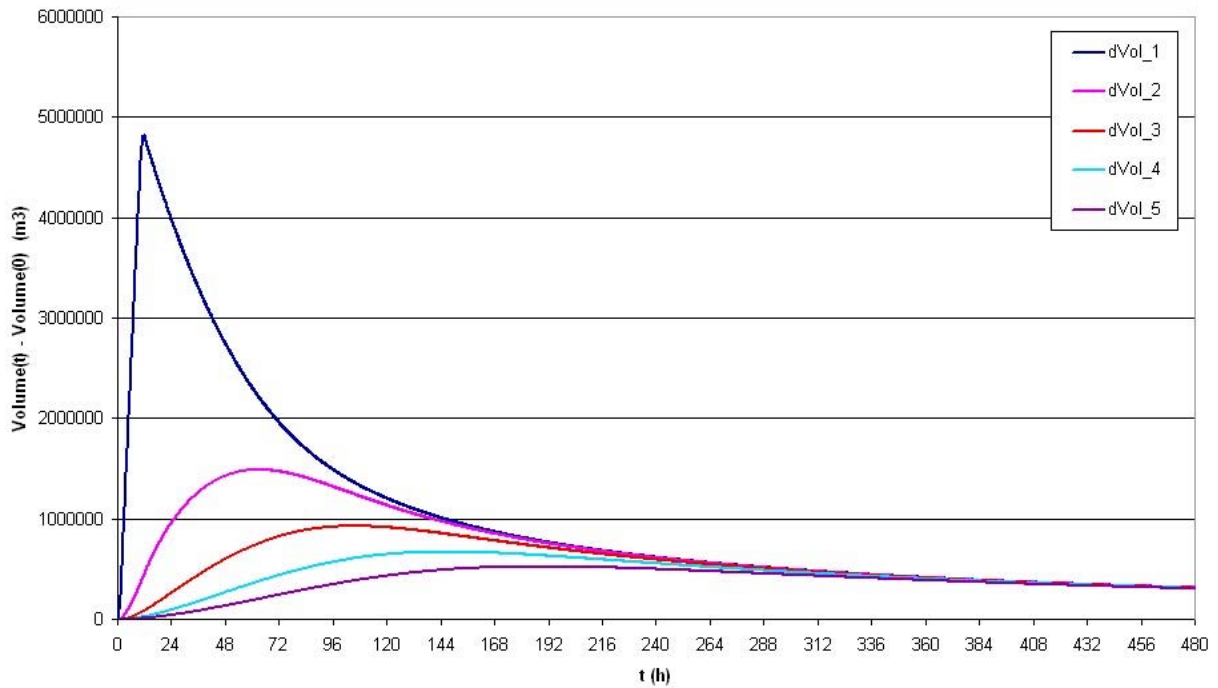


Figura 15

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1

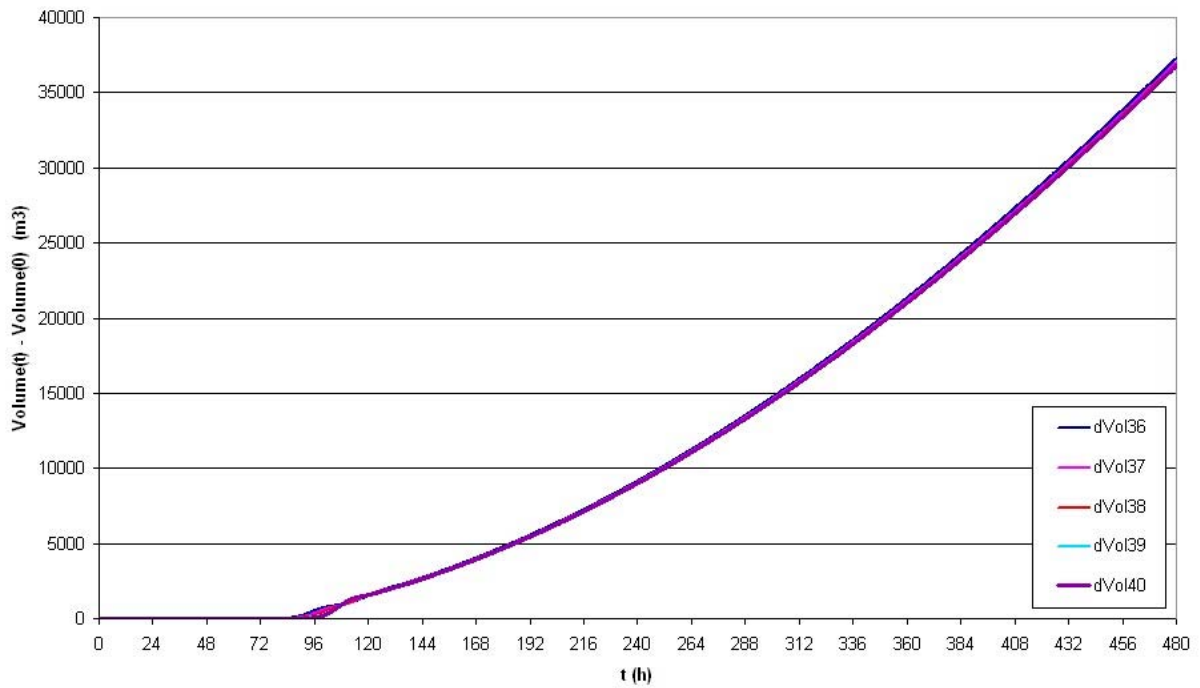


Figura 16

diametri gallerie di 5 m - test TRANS1

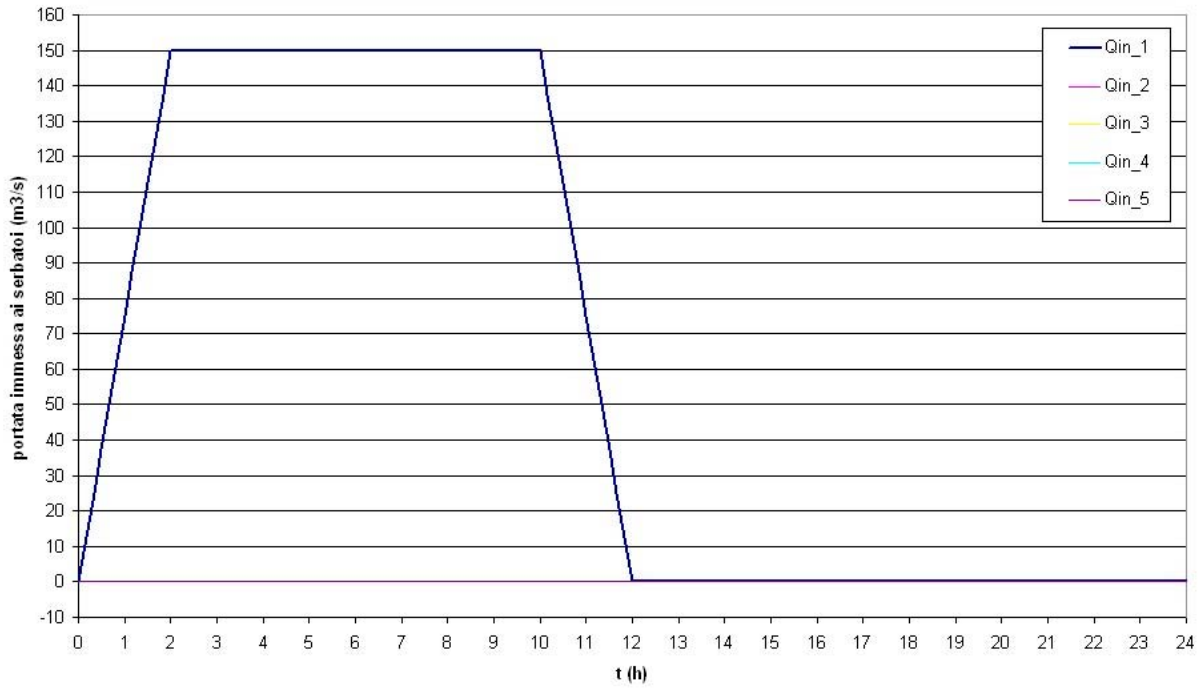


Figura 17

diametri gallerie di 5 m - test TRANS1

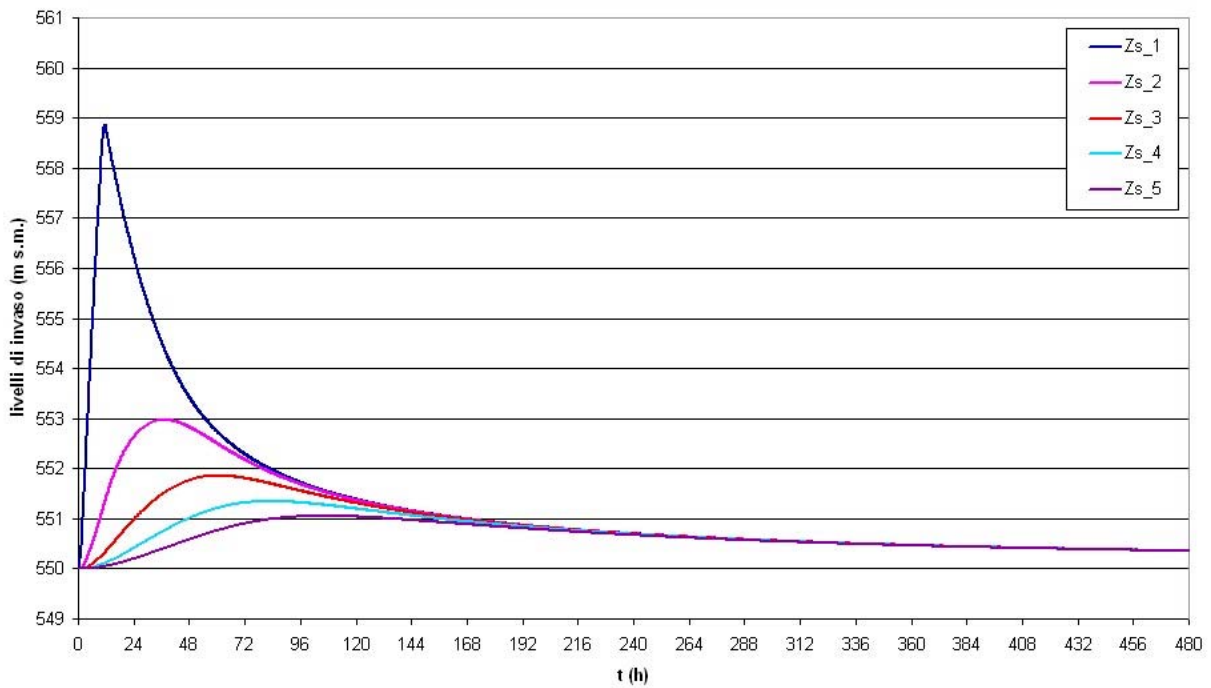
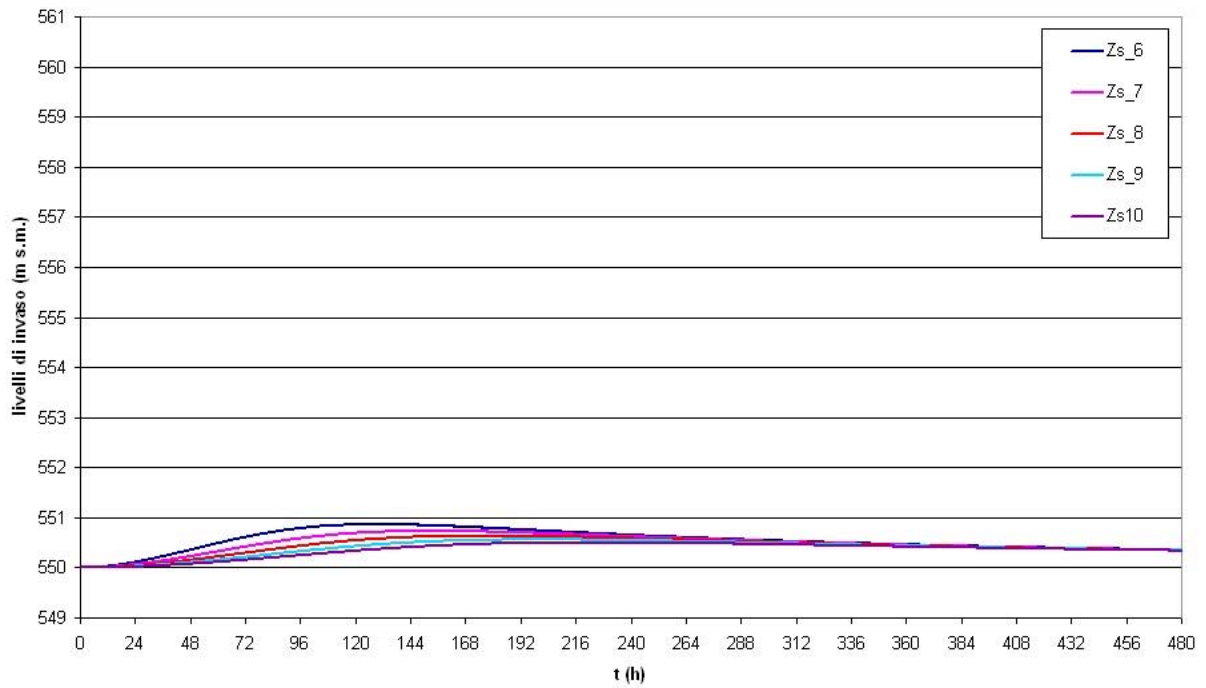
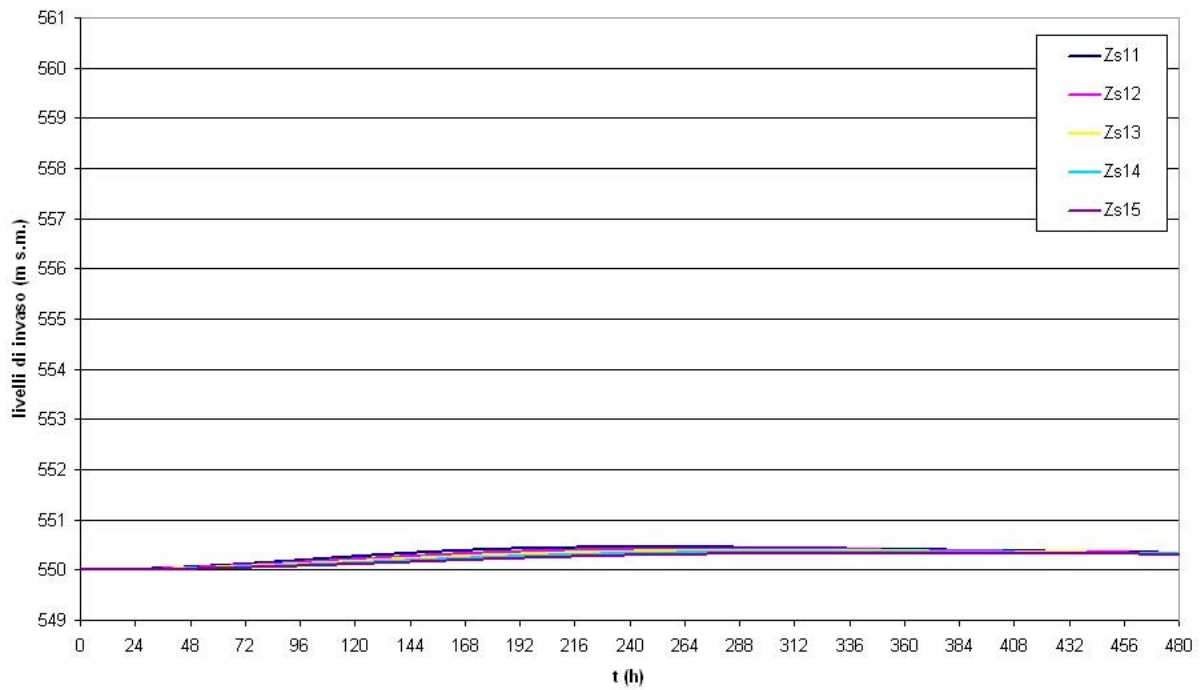


Figura 18

diametri gallerie di 5 m - test TRANS1**Figura 19****diametri gallerie di 5 m - test TRANS1****Figura 20**

diametri gallerie di 5 m - test TRANS1

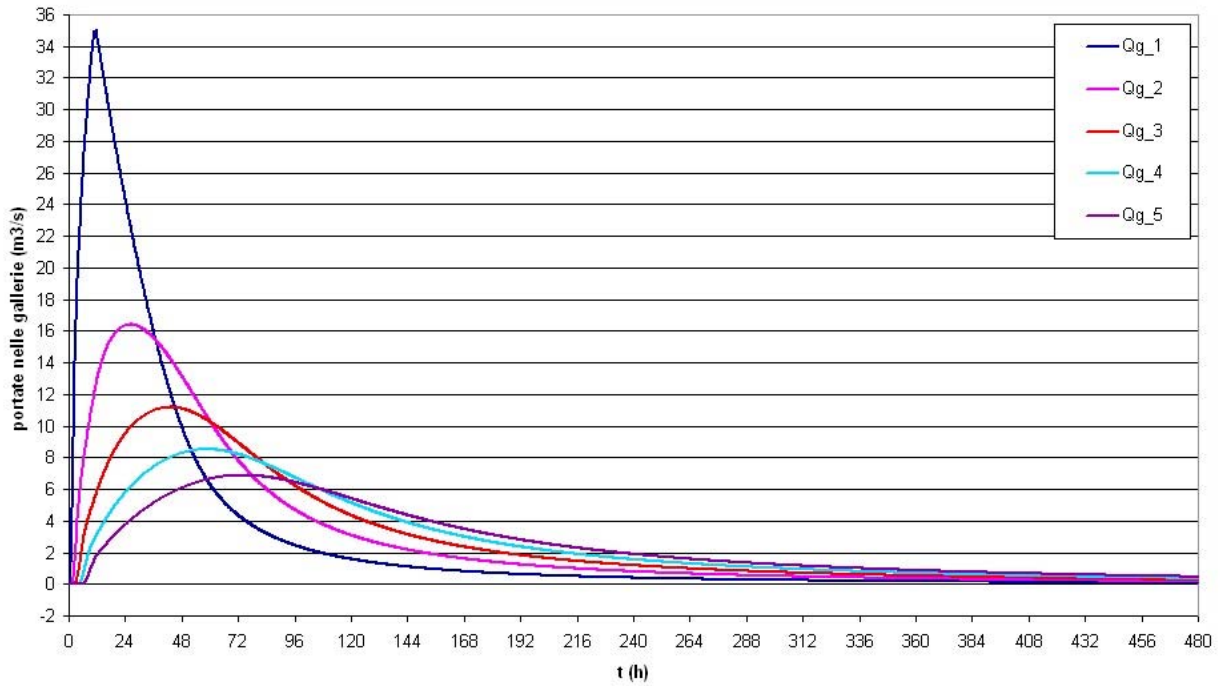


Figura 21

diametri gallerie di 5 m - test TRANS1

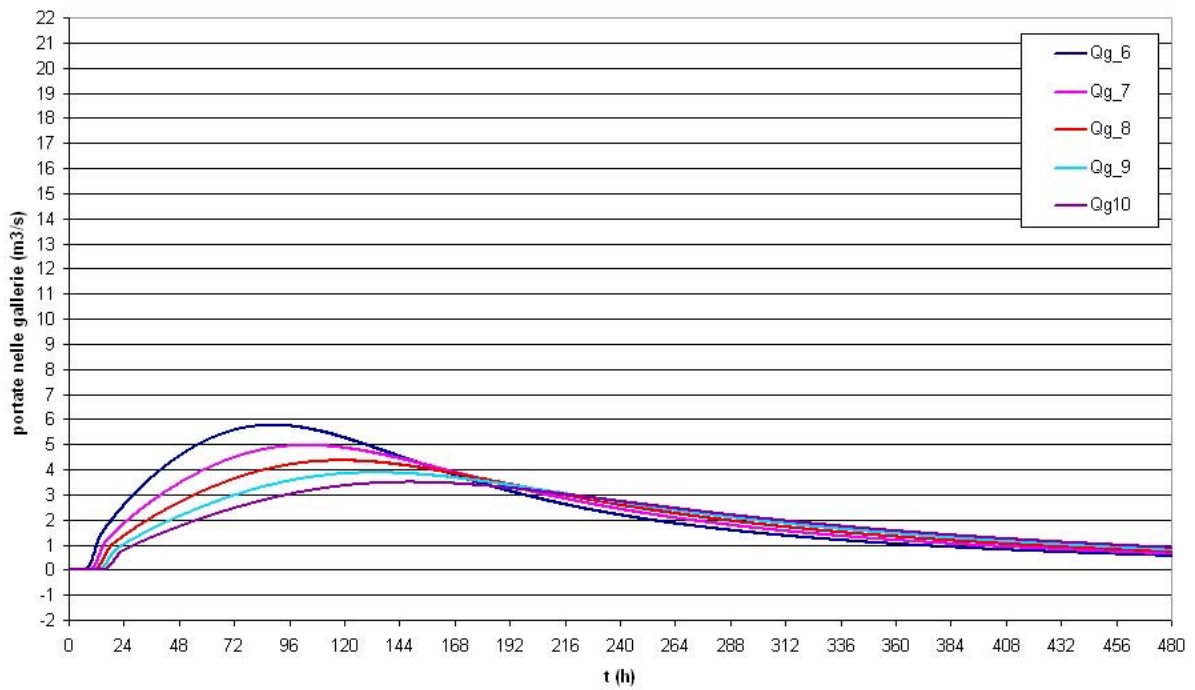


Figura 22

diametri gallerie di 5 m - test TRANS1

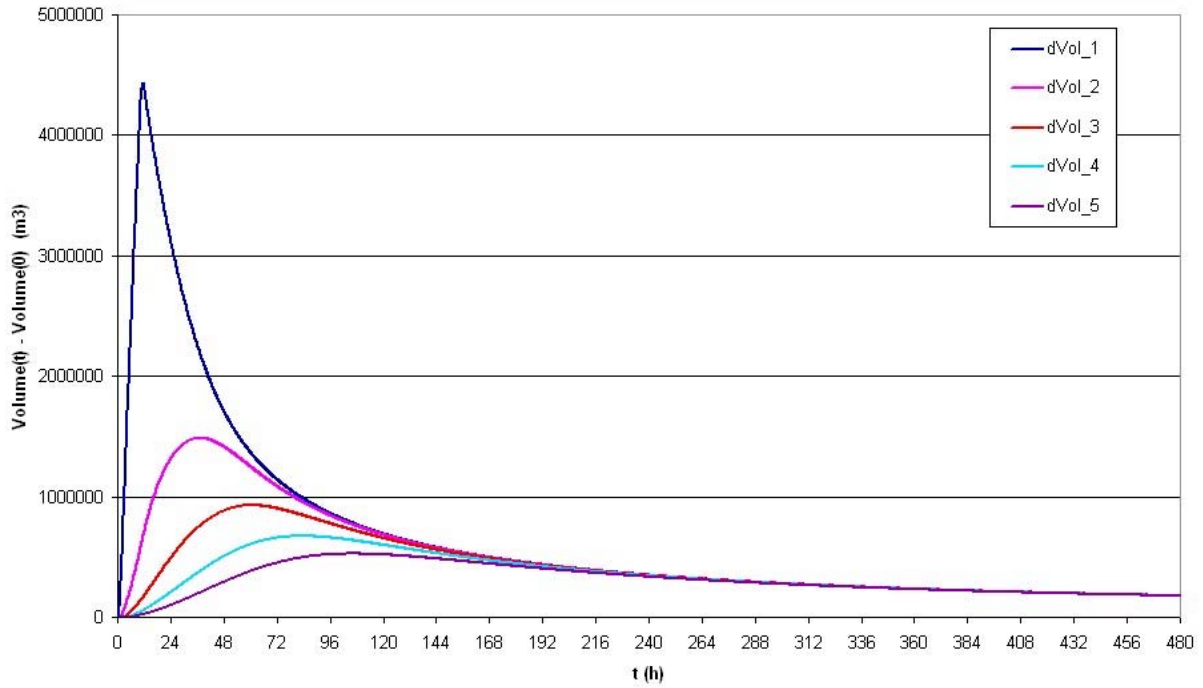


Figura 23

diametri gallerie di 5 m - test TRANS1

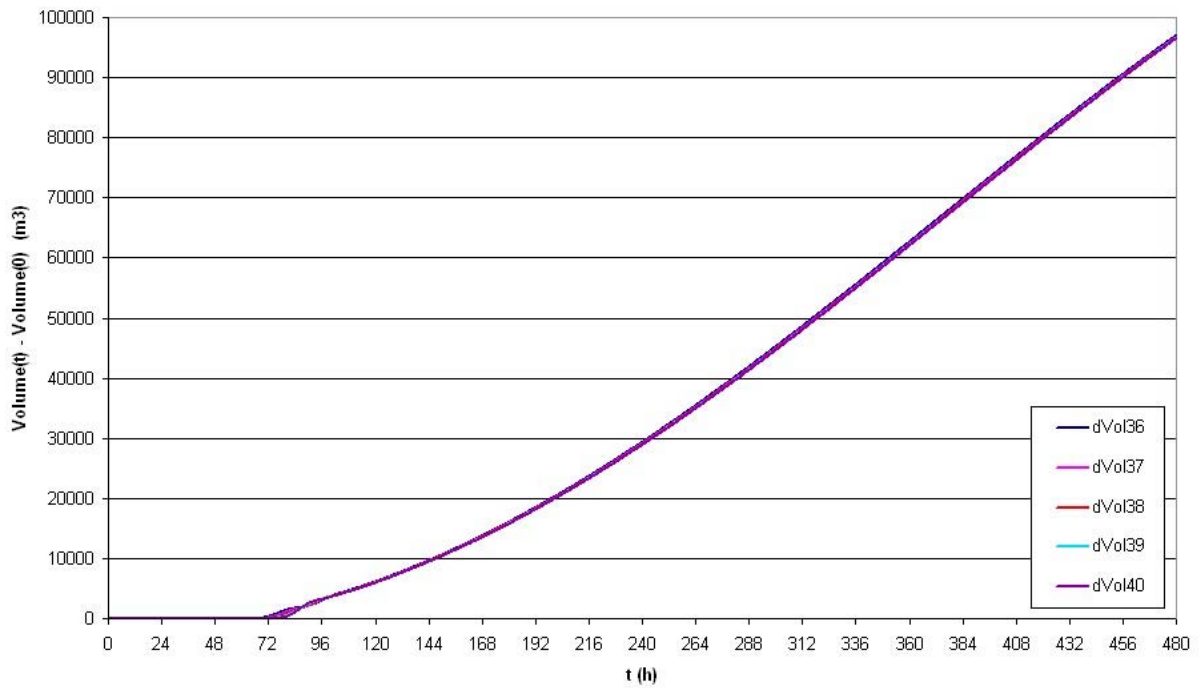


Figura 24

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2

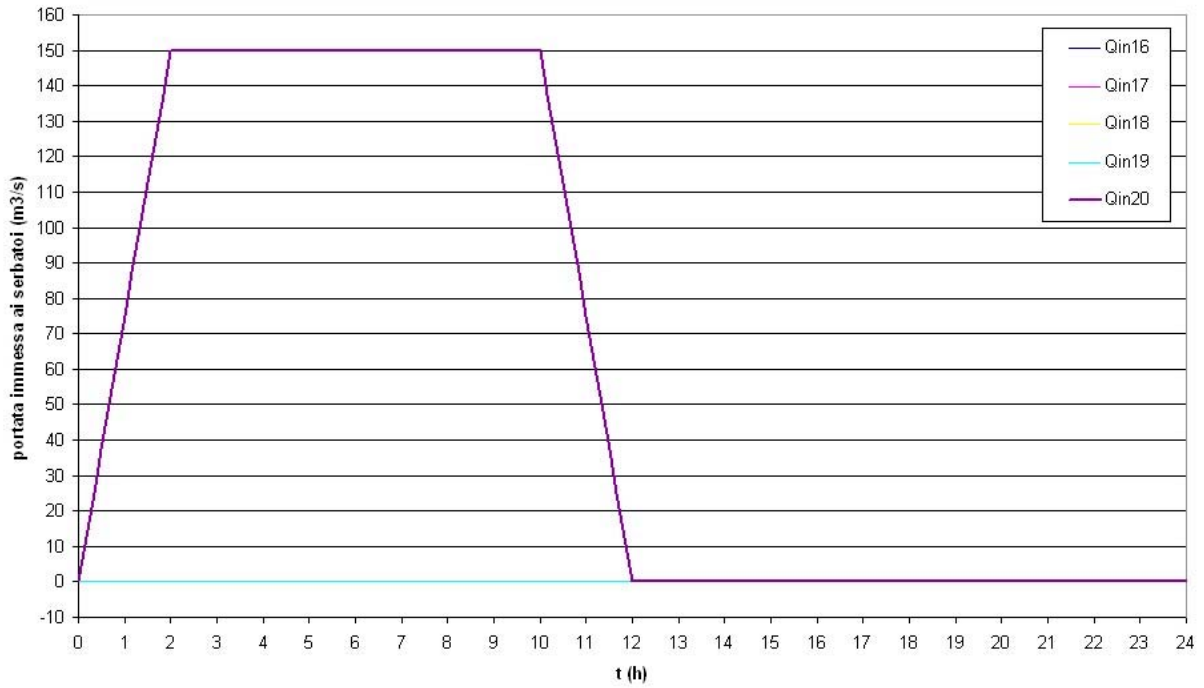


Figura 25

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2

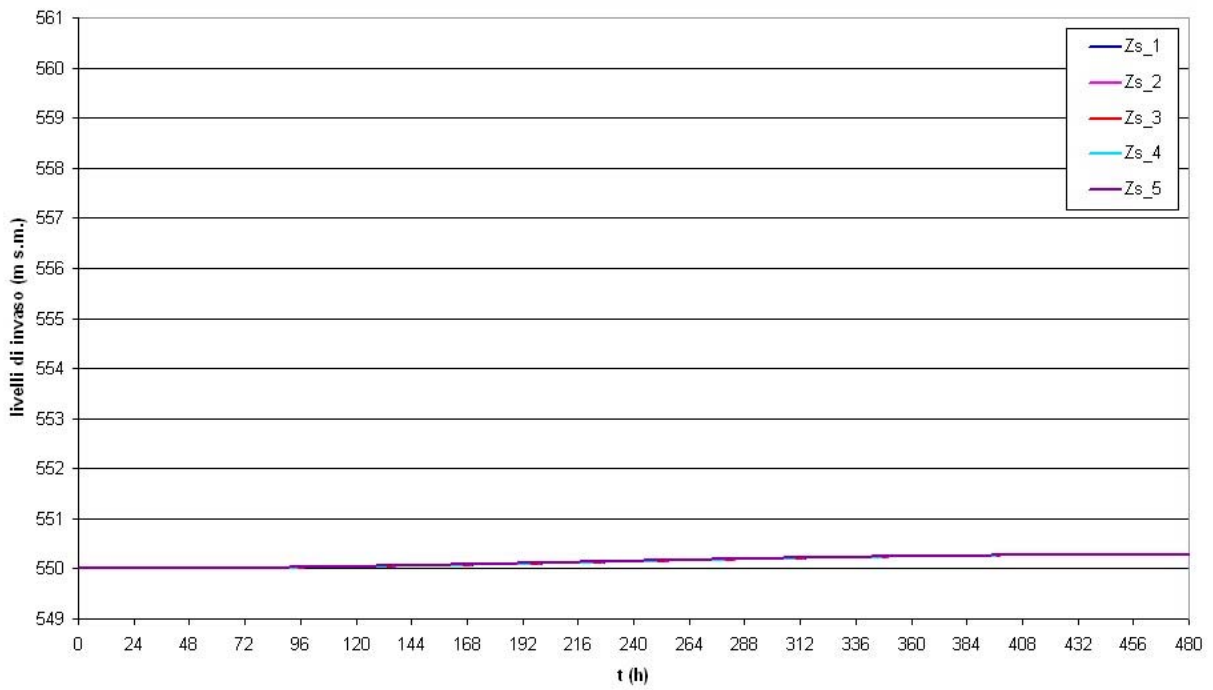


Figura 26

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2

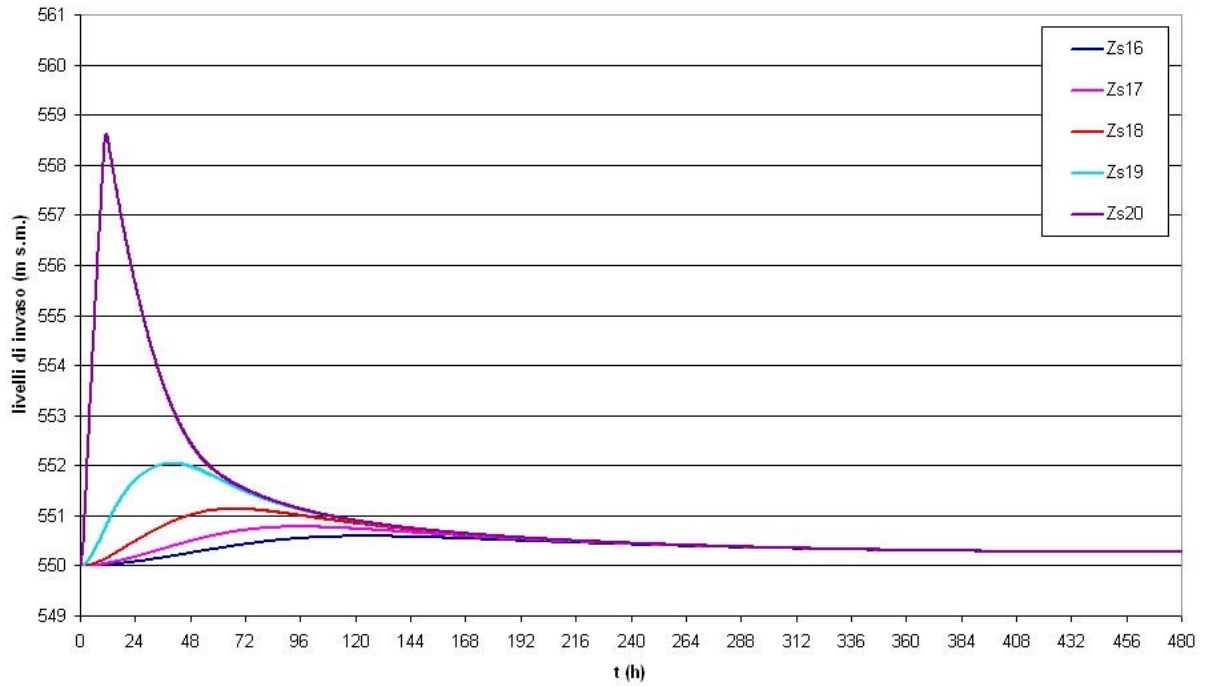


Figura 27

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2

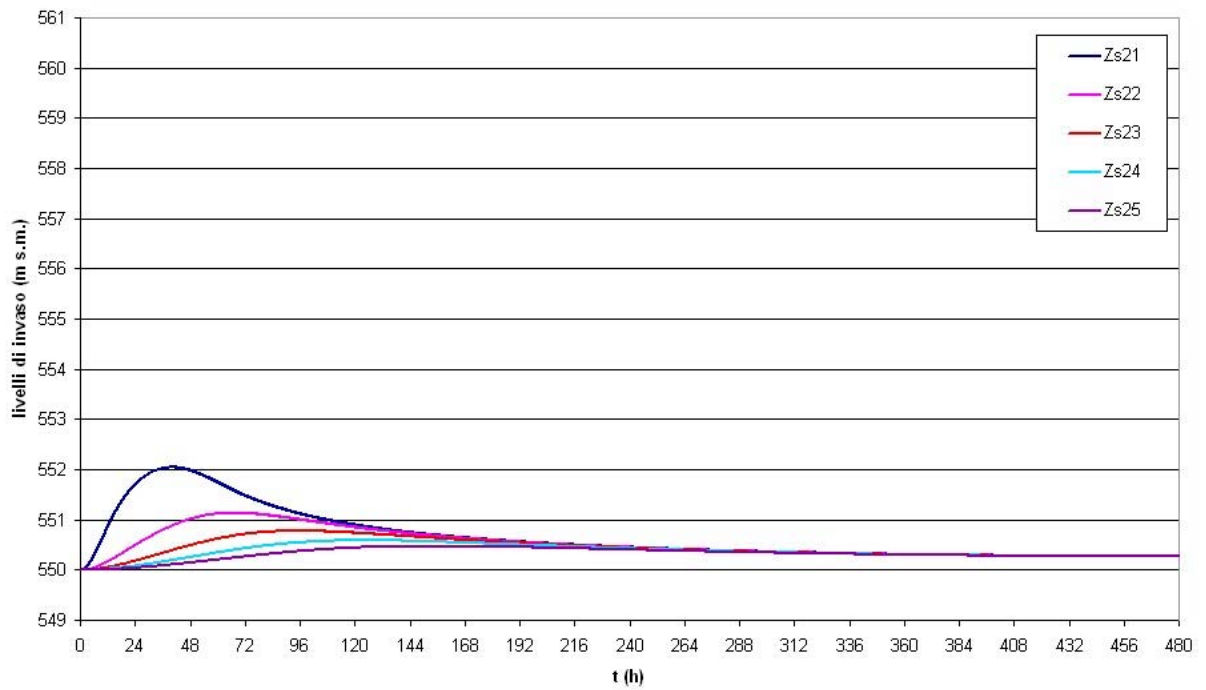


Figura 28

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2

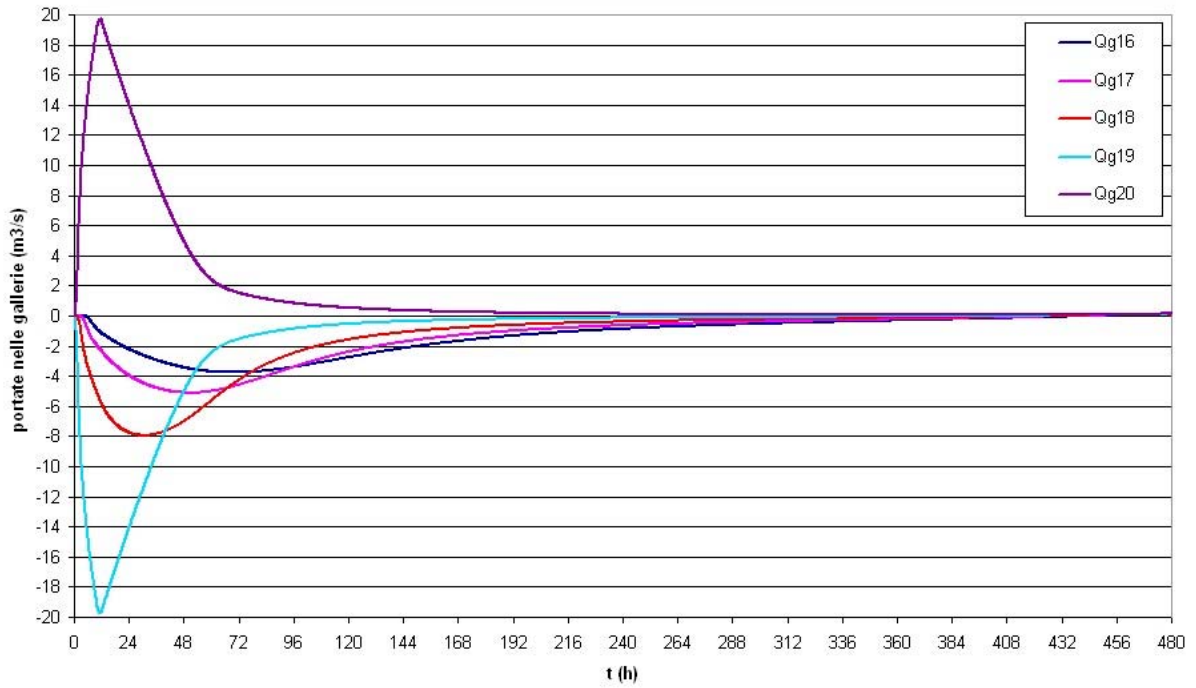


Figura 29

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2

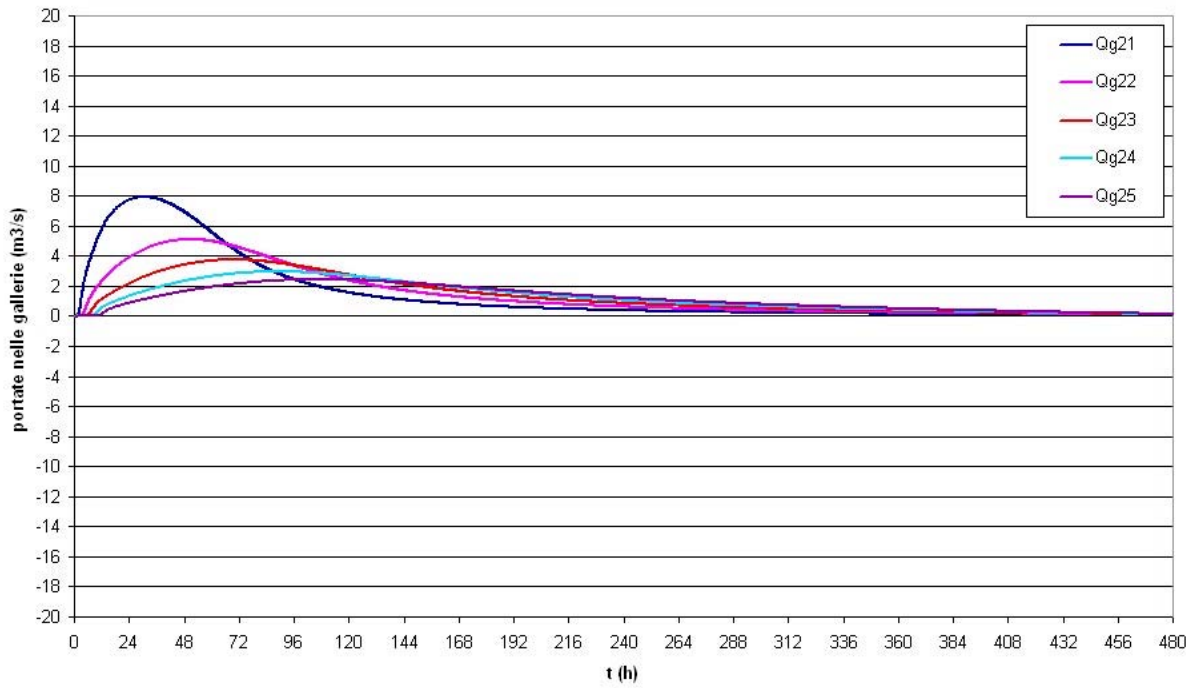


Figura 30

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2

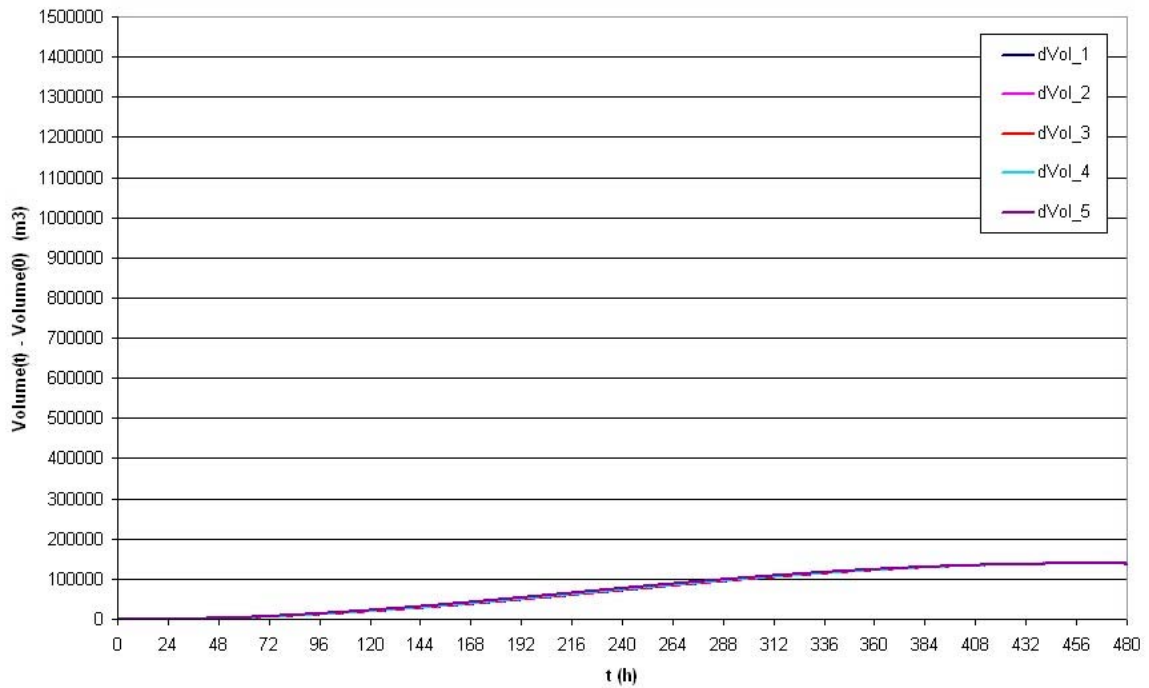


Figura 31

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2

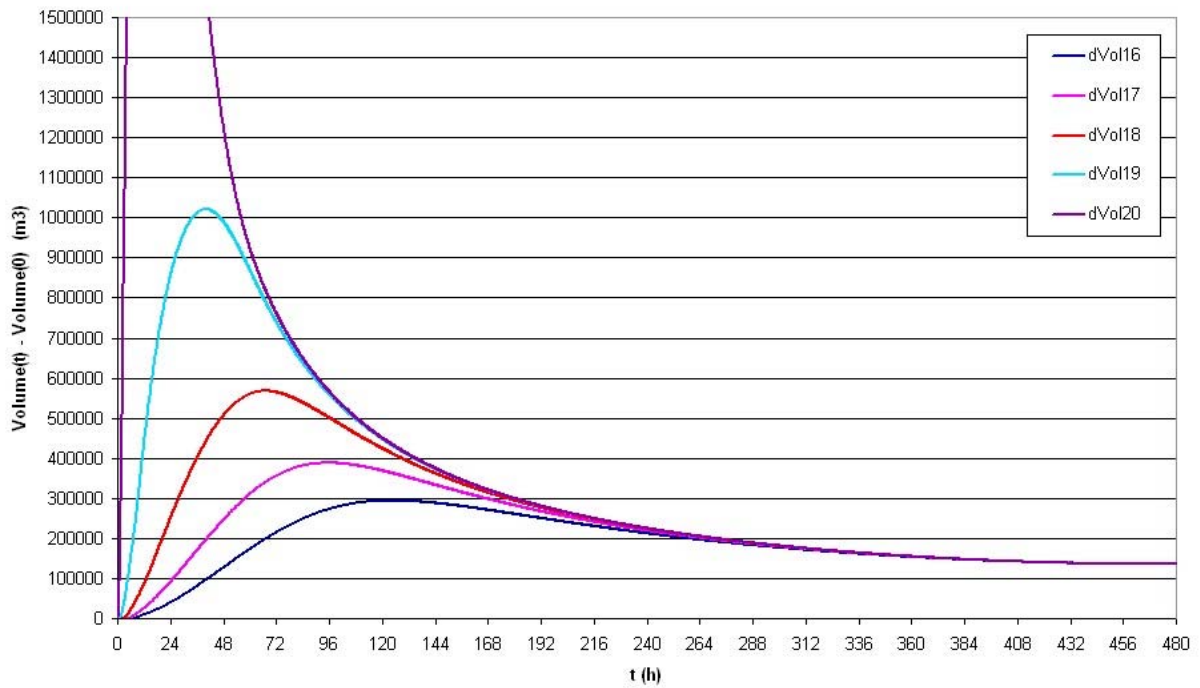


Figura 32

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

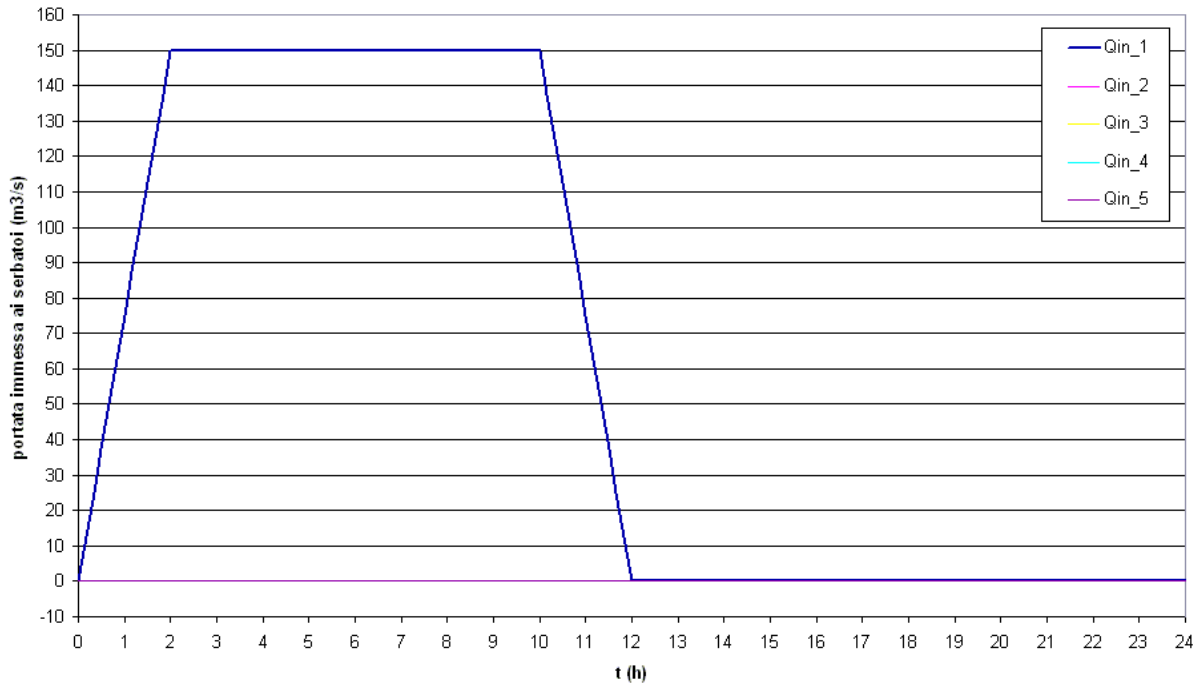


Figura 33

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

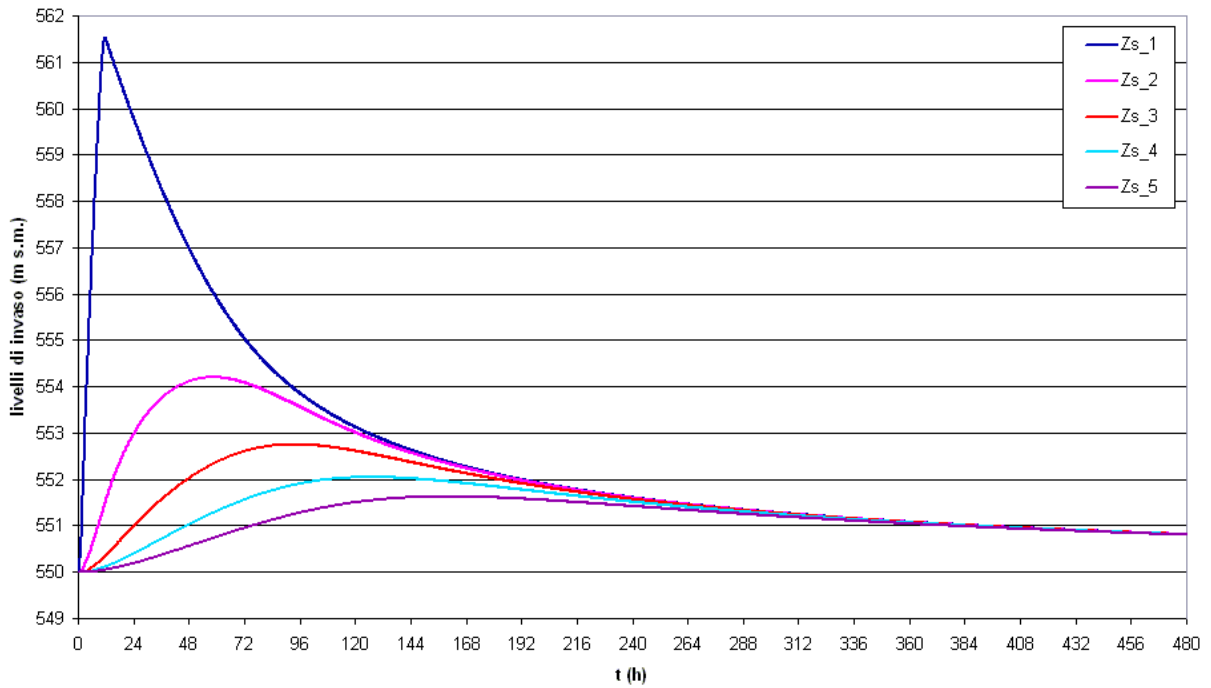


Figura 34

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

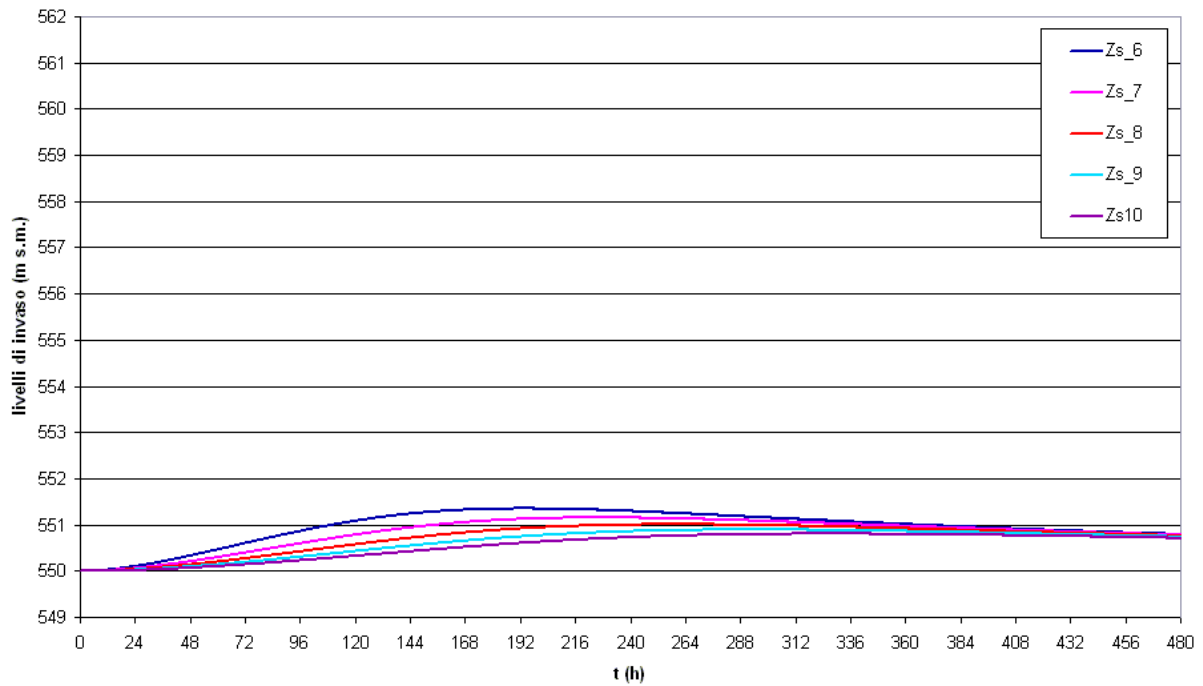


Figura 35

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

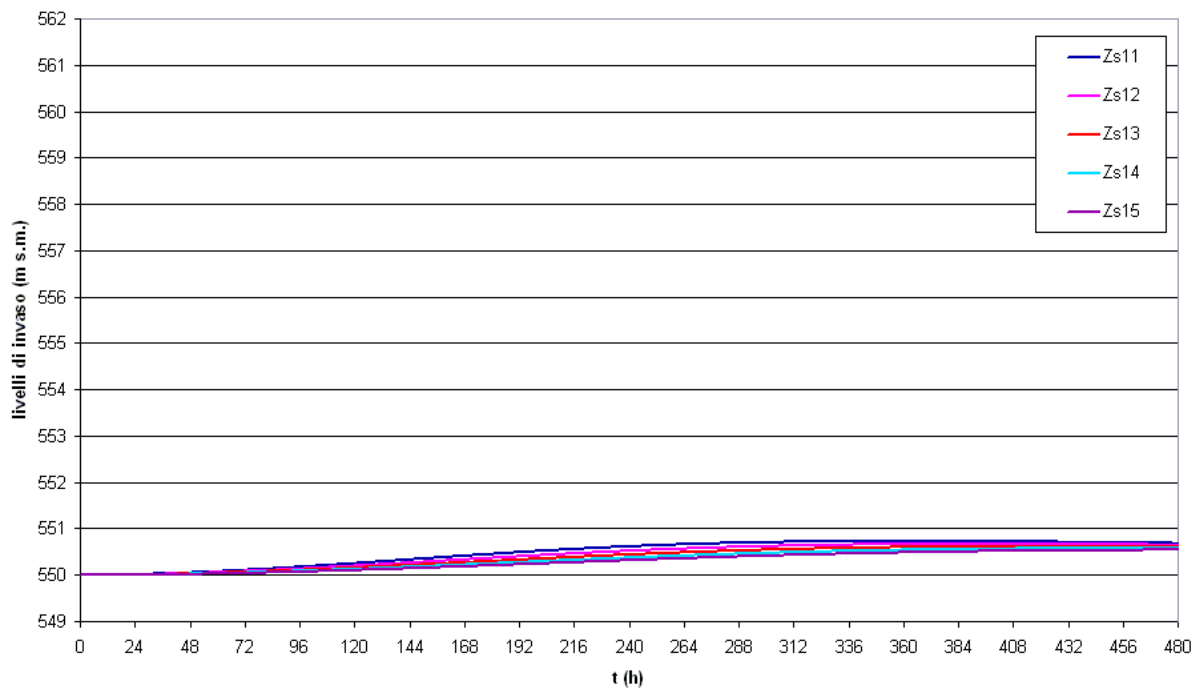


Figura 36

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

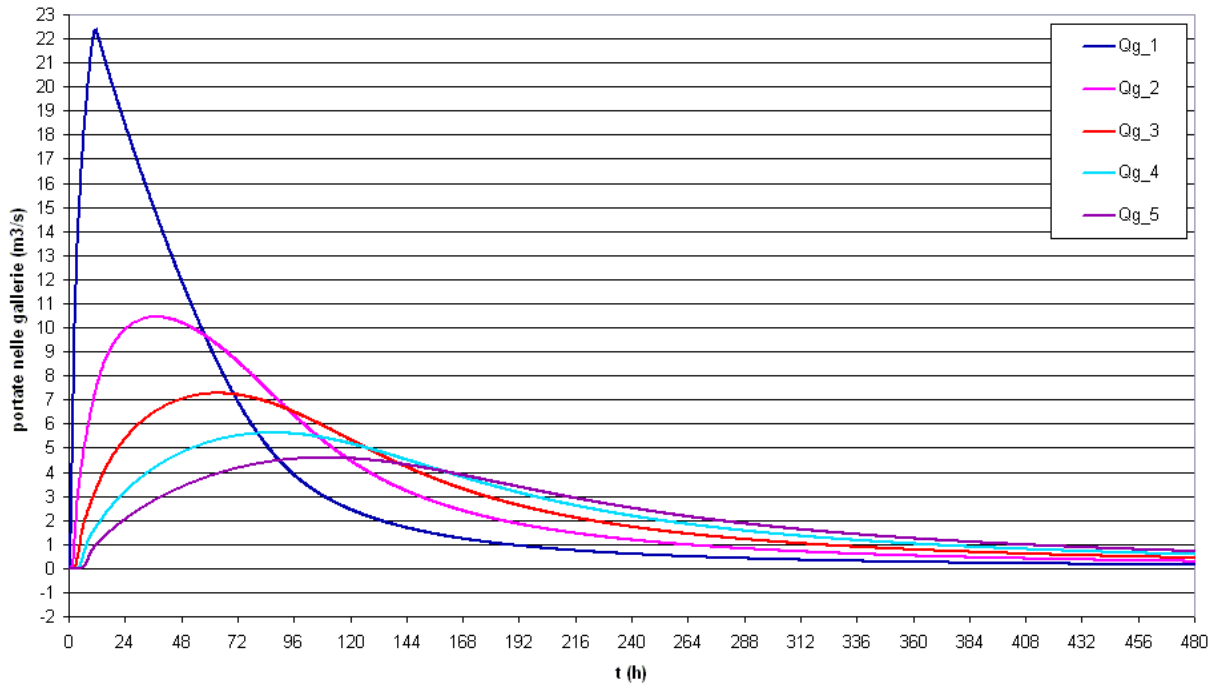


Figura 37

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

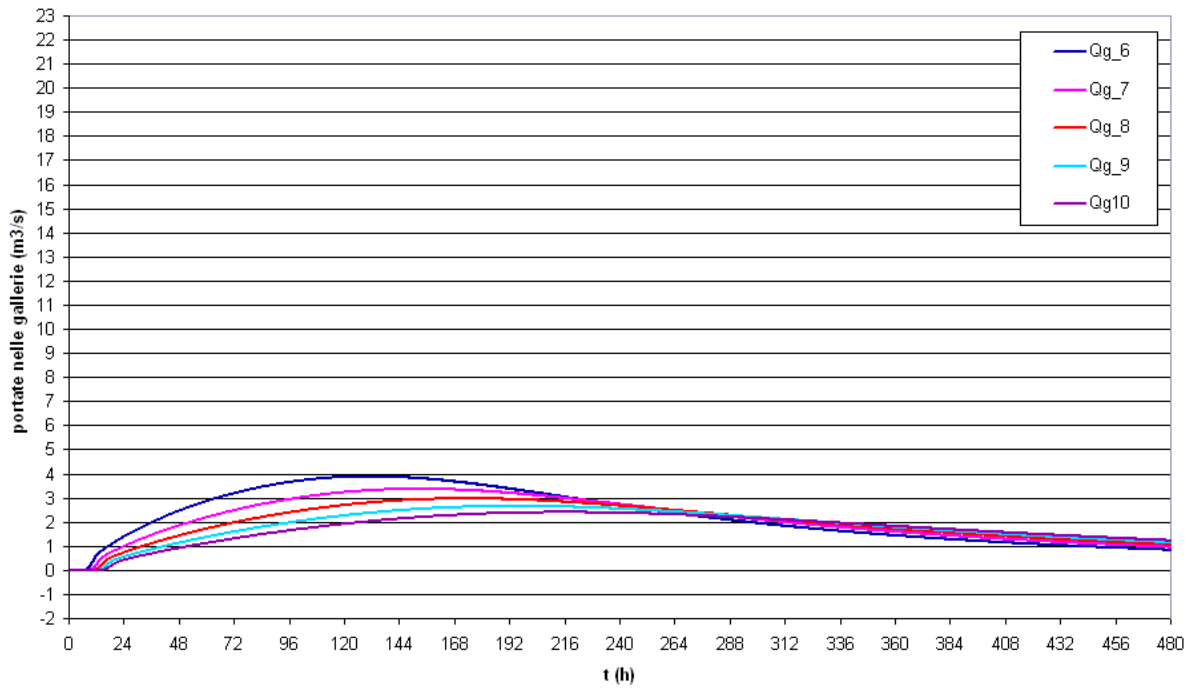


Figura 38

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

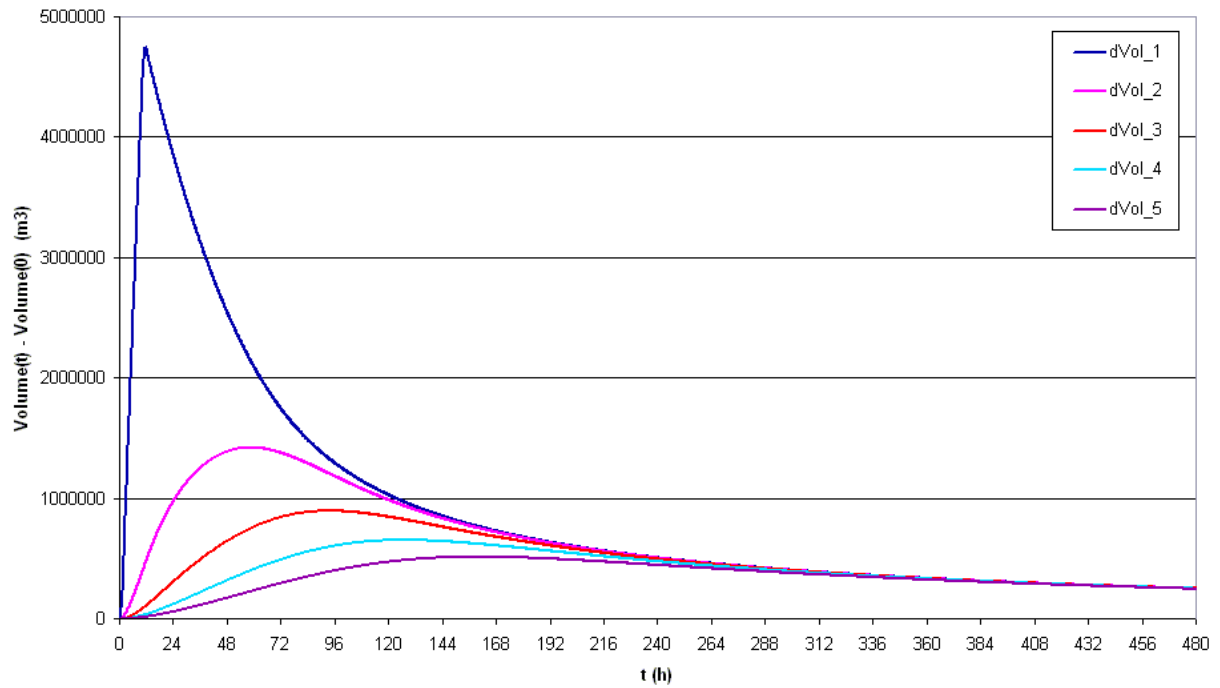


Figura 39

diametri gallerie di 4 m - test TRANS1 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

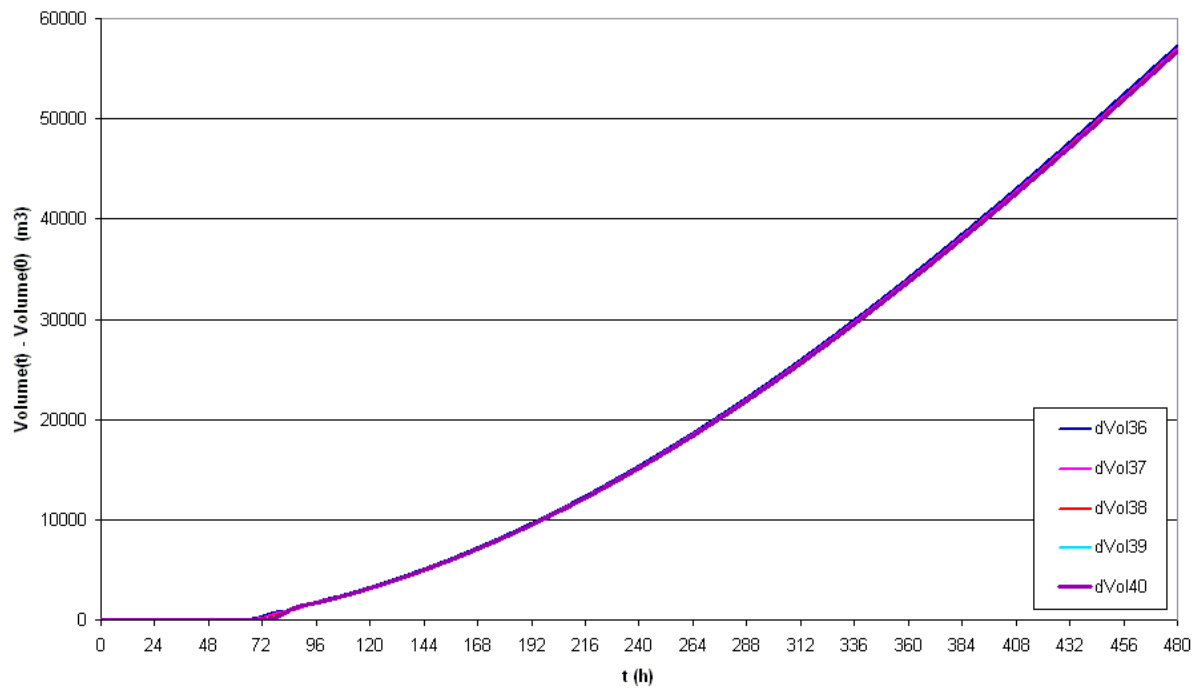


Figura 40

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

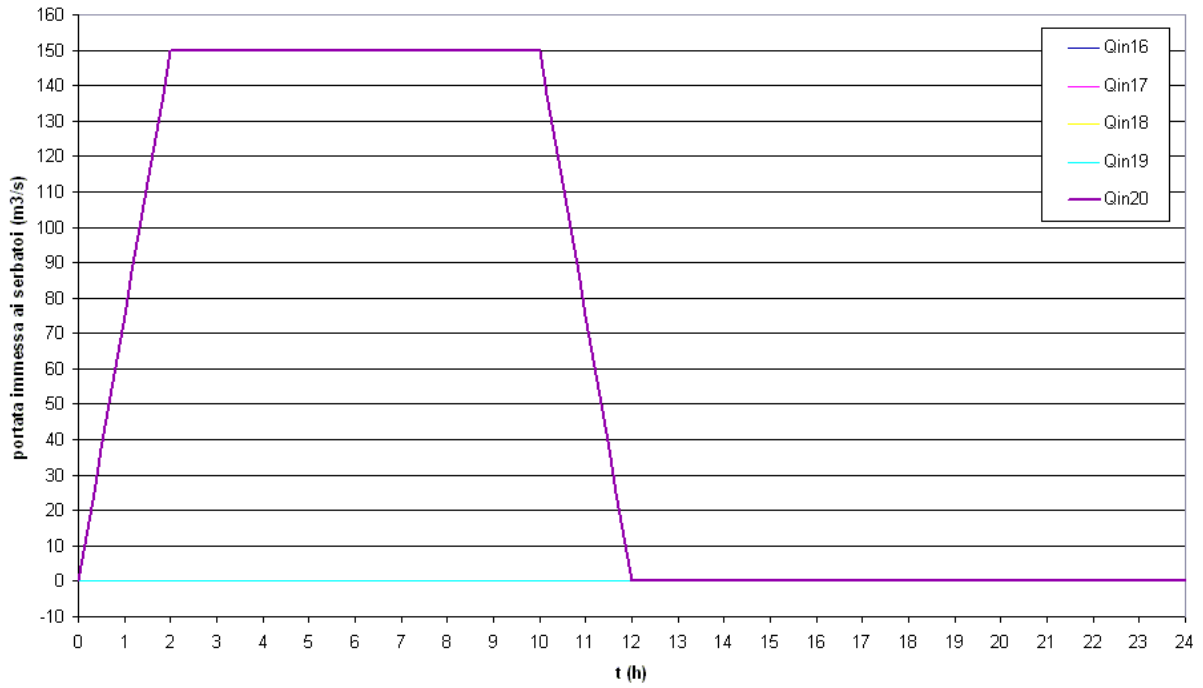


Figura 41

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

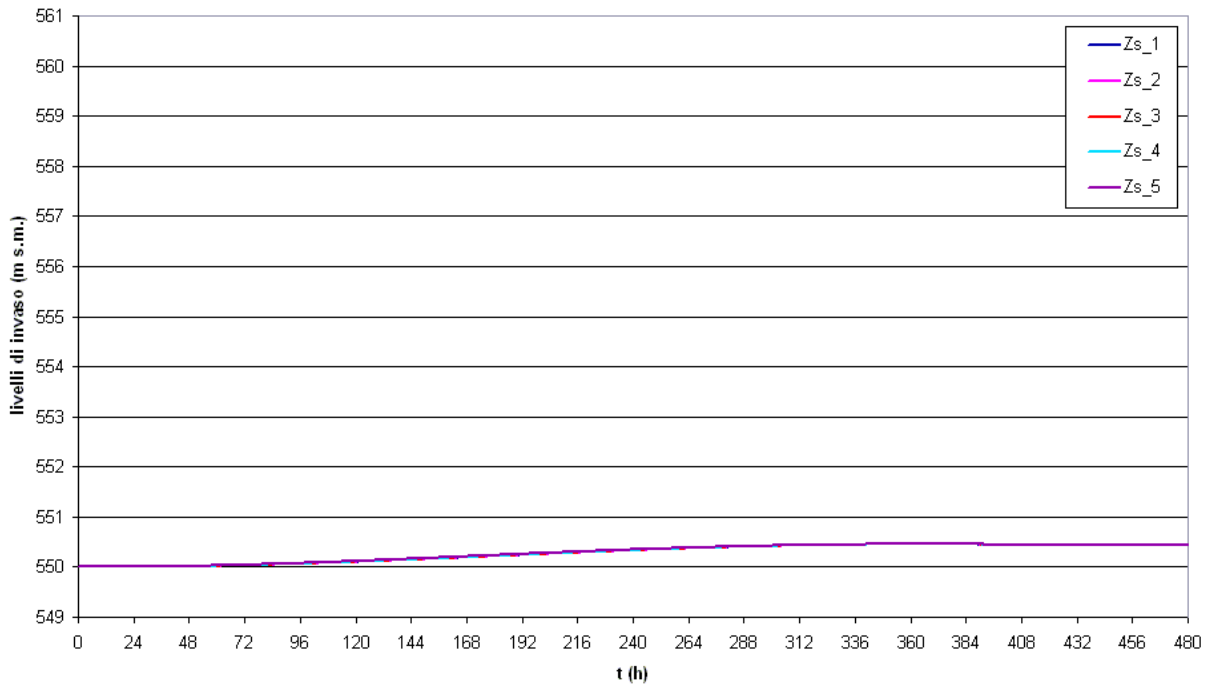


Figura 42

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

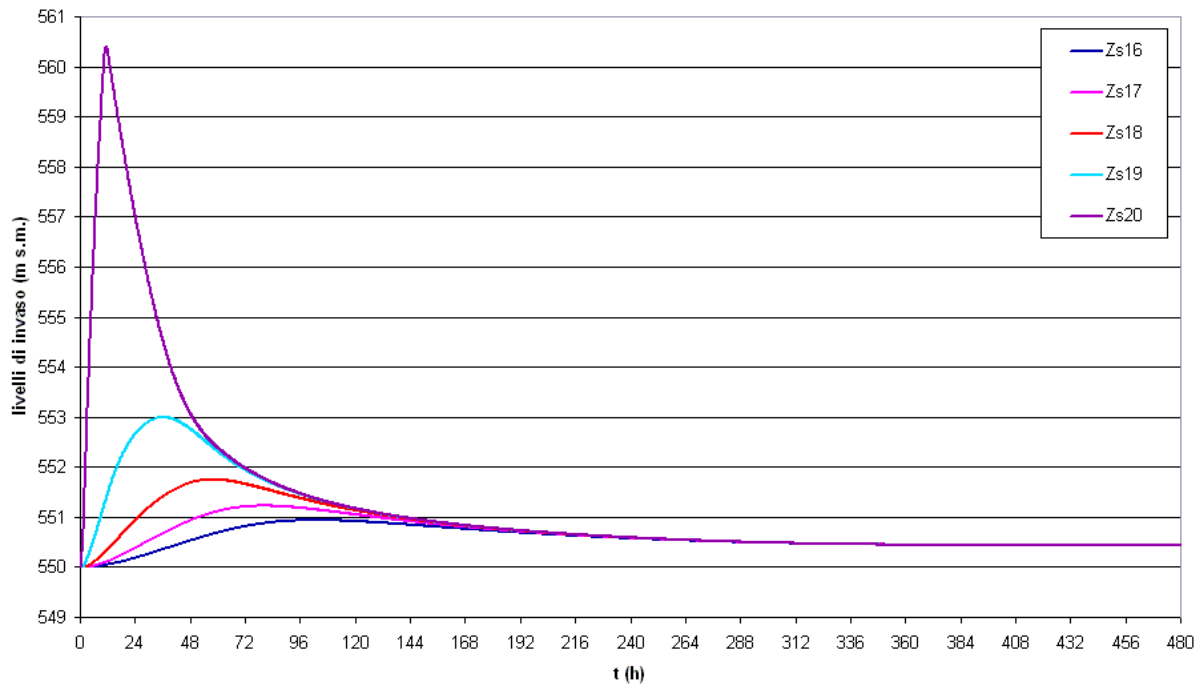


Figura 43

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

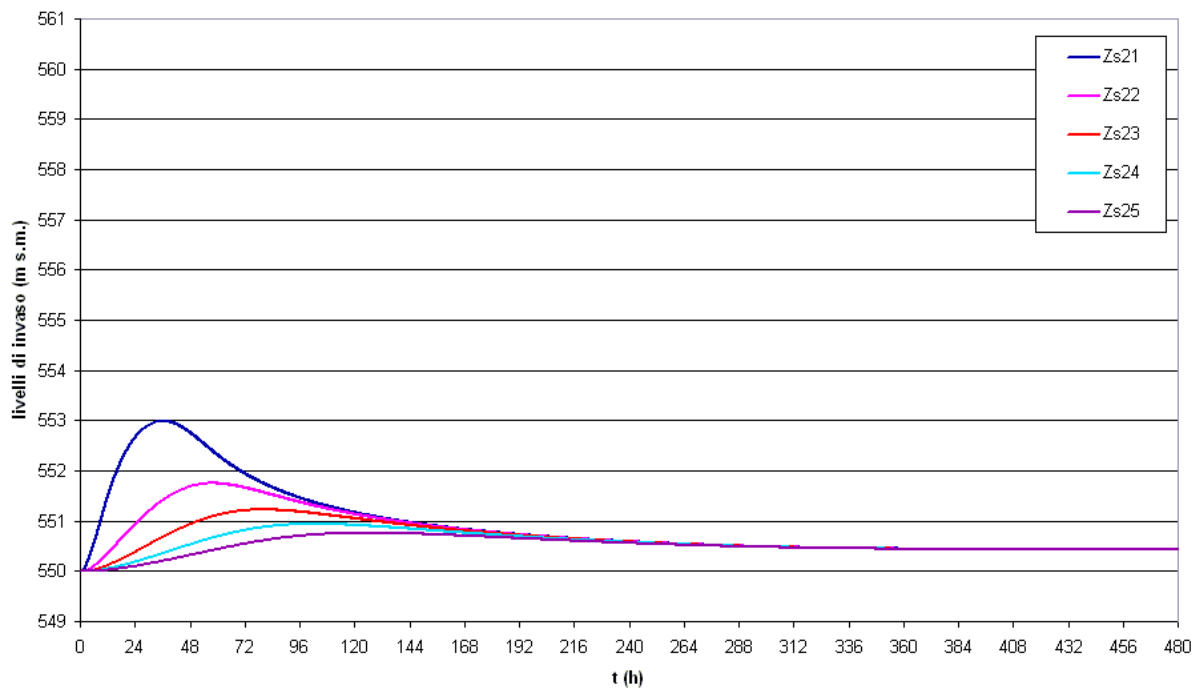


Figura 44

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

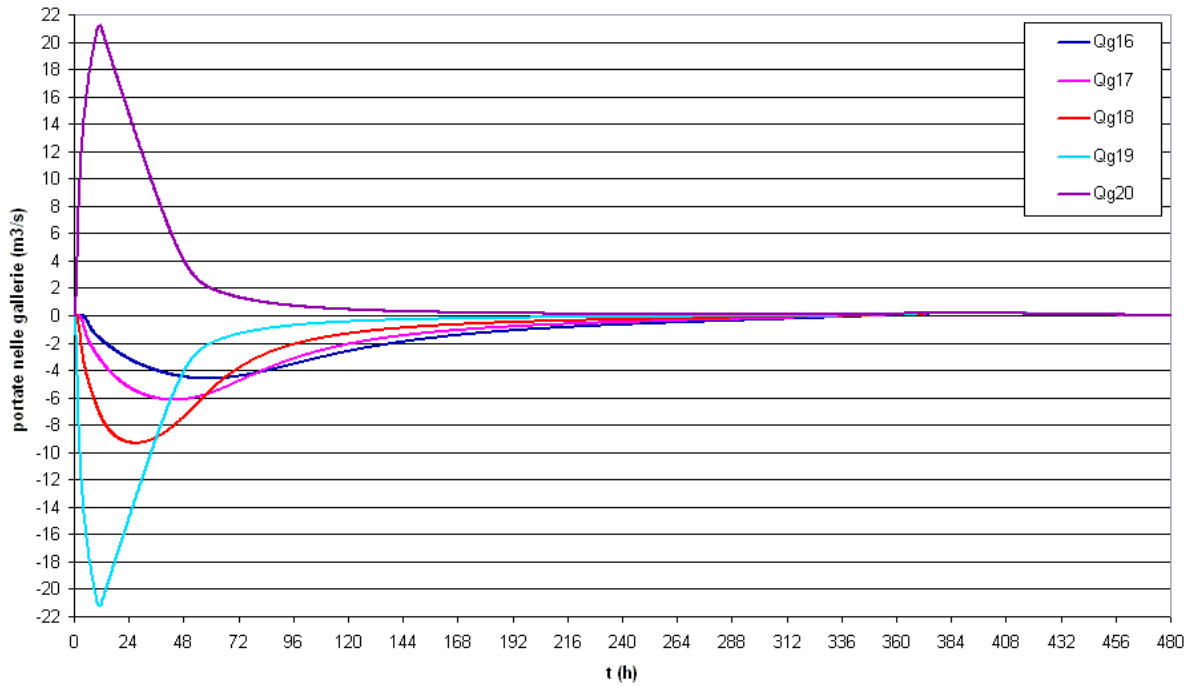


Figura 45

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

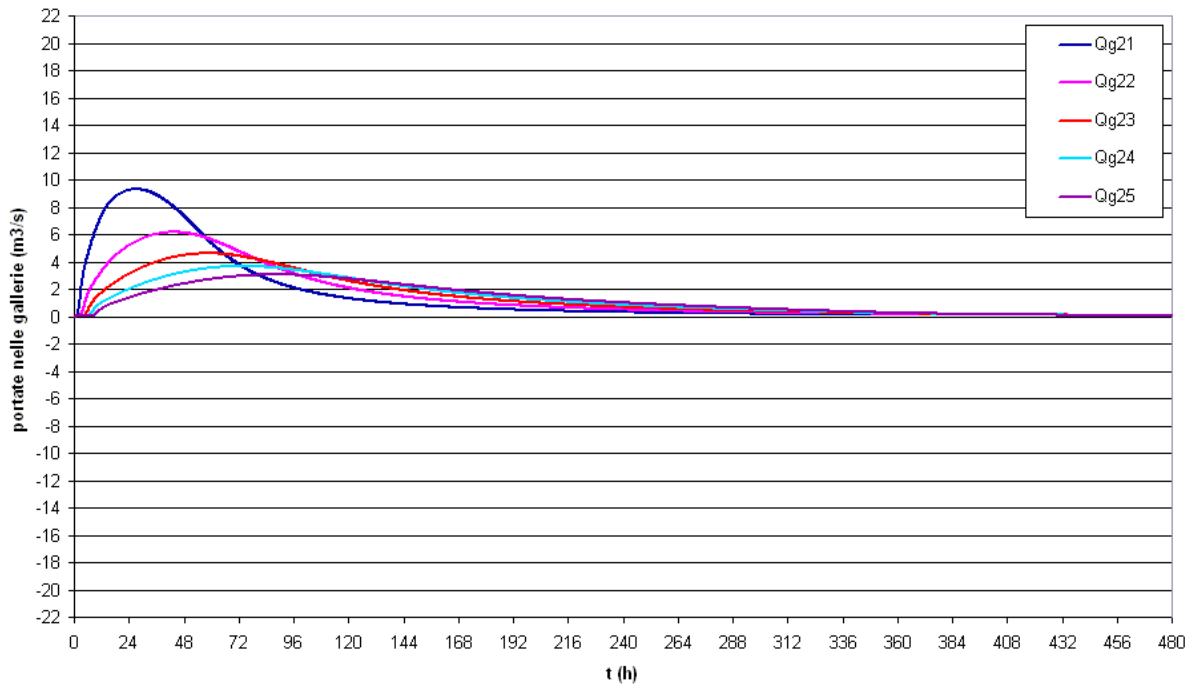


Figura 46

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

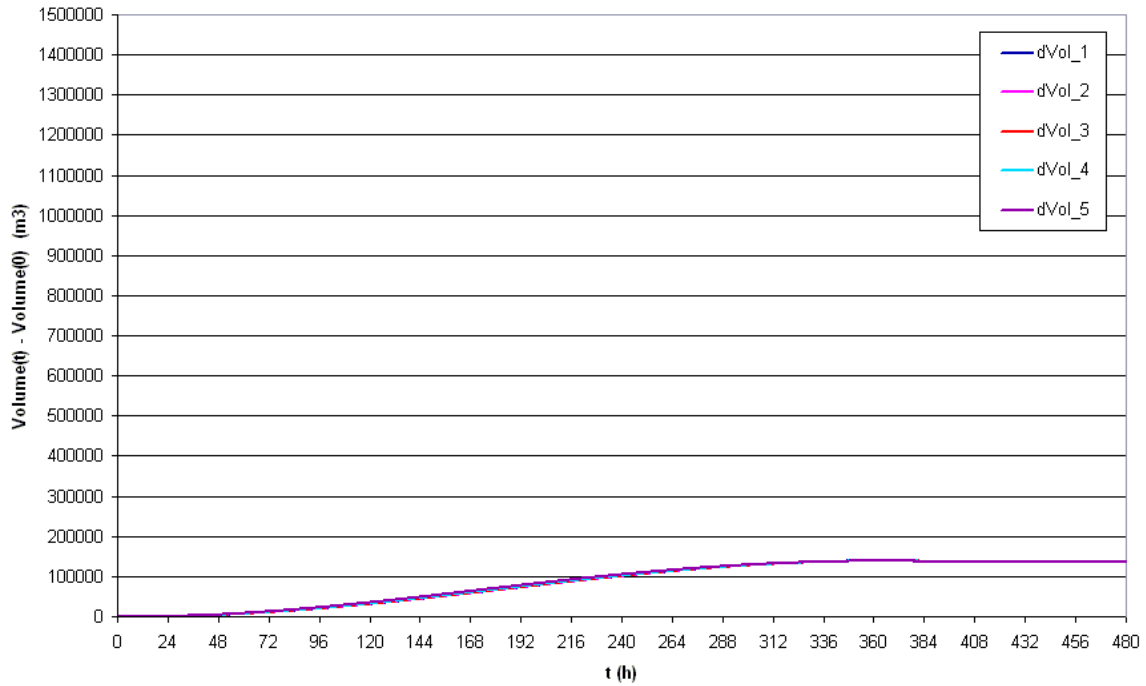


Figura 47

diametri gallerie di 4 m - test TRANS2 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

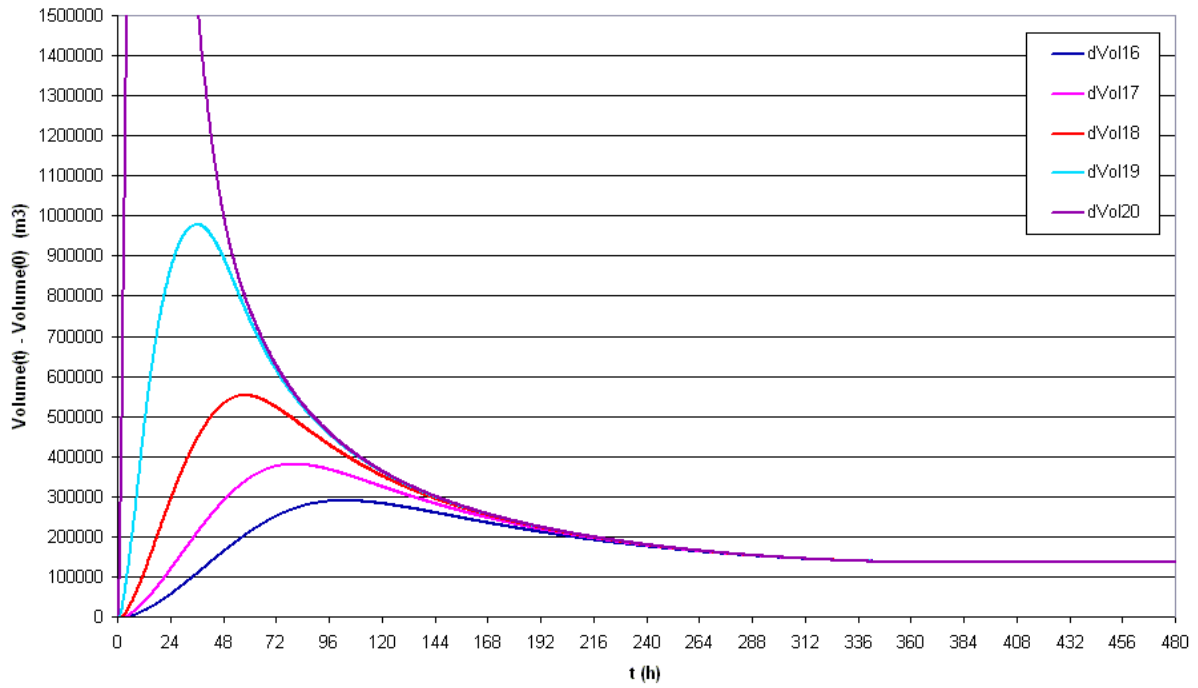


Figura 48

diametri gallerie di 4 m - test TRANS3 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

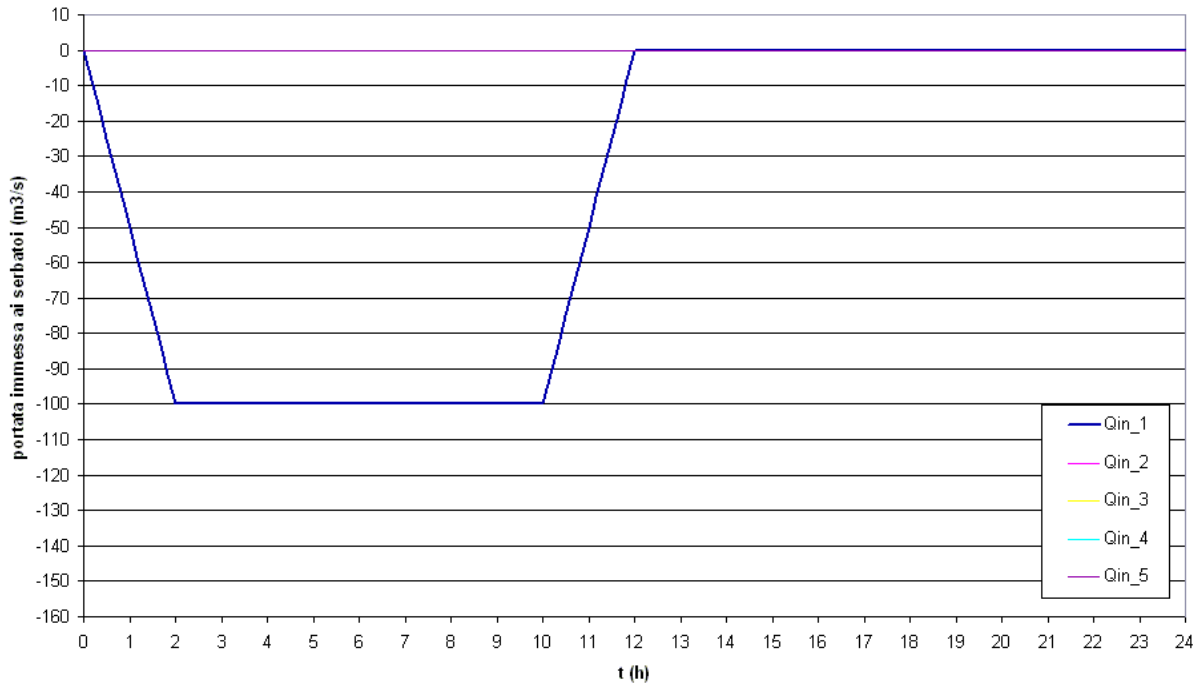


Figura 49

diametri gallerie di 4 m - test TRANS3 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

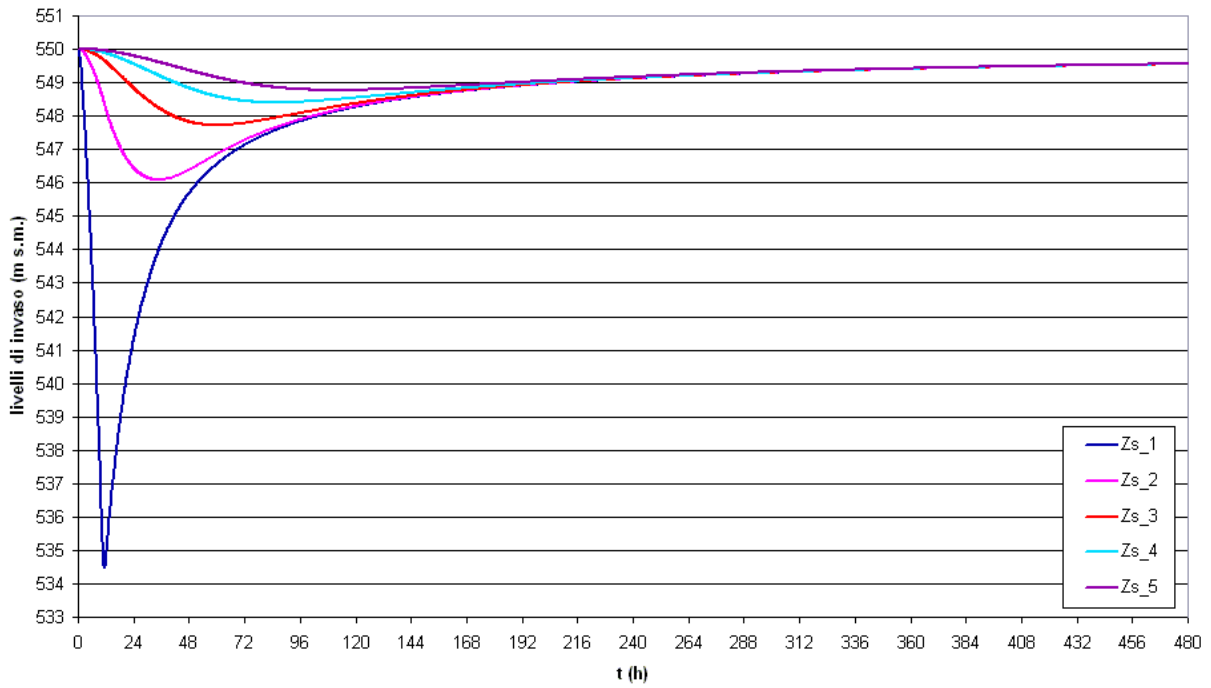


Figura 50

diametri gallerie di 4 m - test TRANS3 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

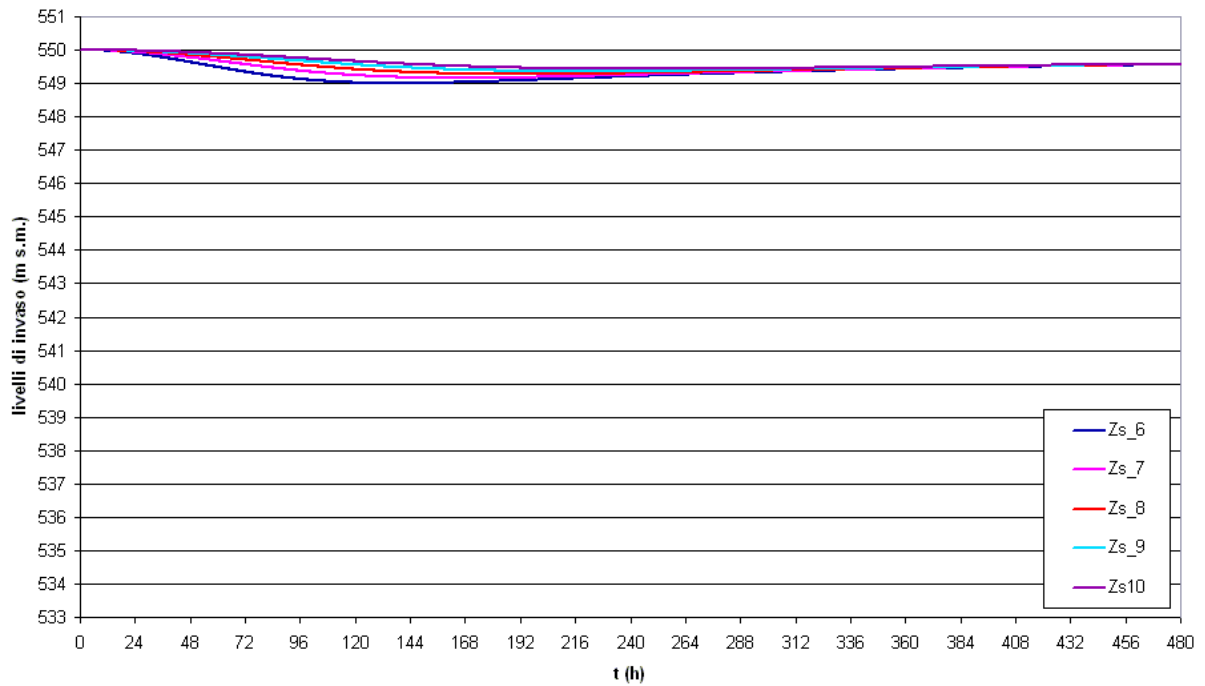


Figura 51

diametri gallerie di 4 m - test TRANS3 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

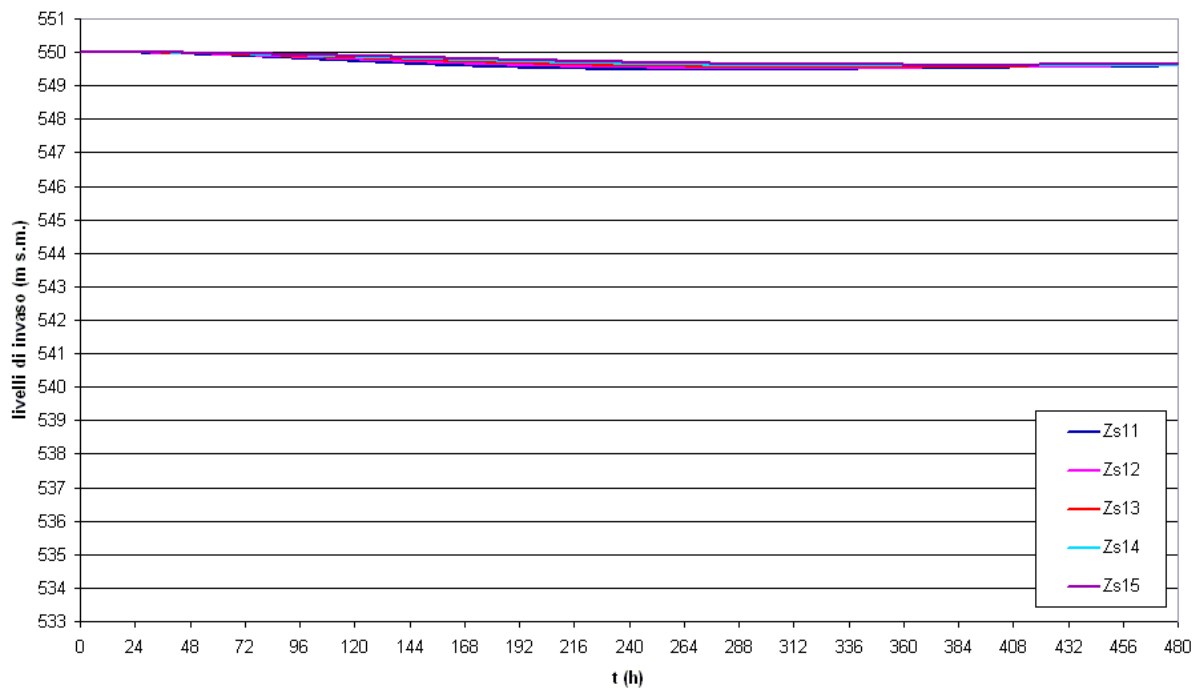


Figura 52

diametri gallerie di 4 m - test TRANS3 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

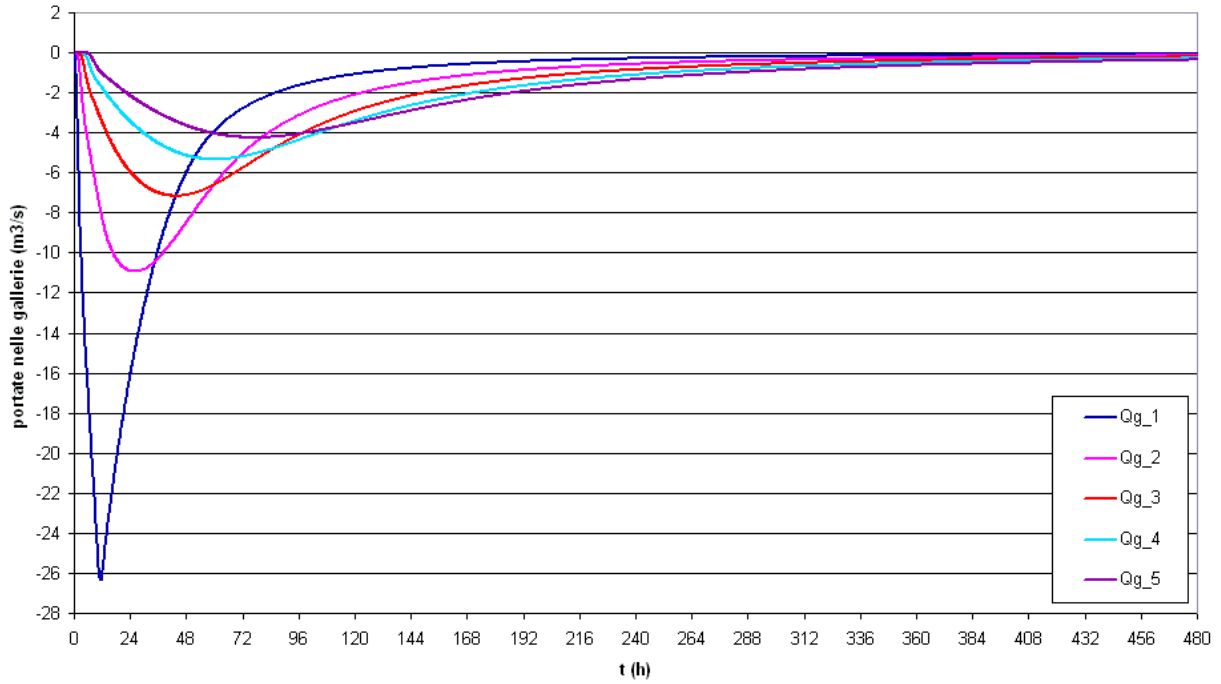


Figura 53

diametri gallerie di 4 m - test TRANS3 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

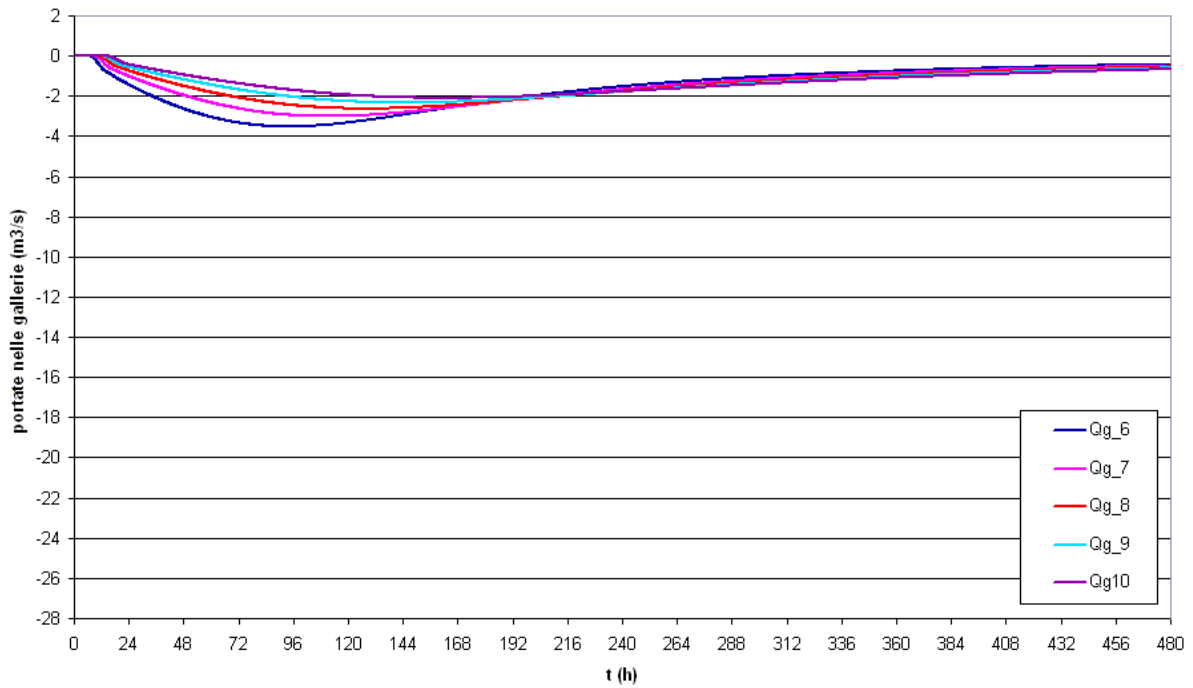


Figura 54

diametri gallerie di 4 m - test TRANS3 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

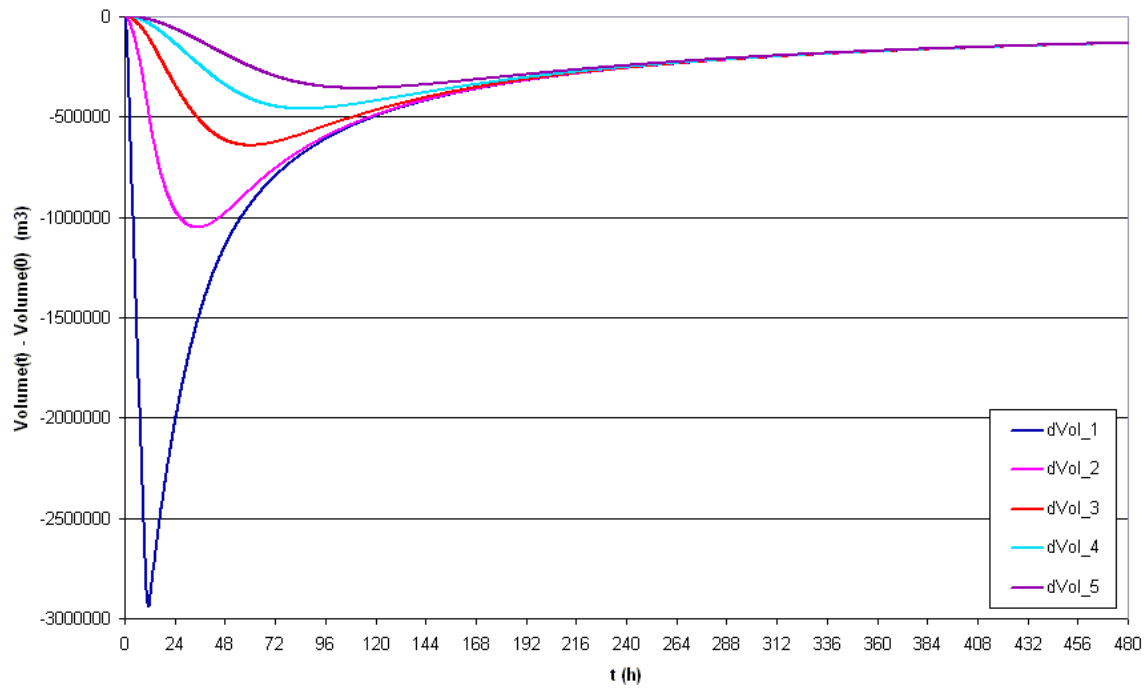


Figura 55

diametri gallerie di 4 m - test TRANS3 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

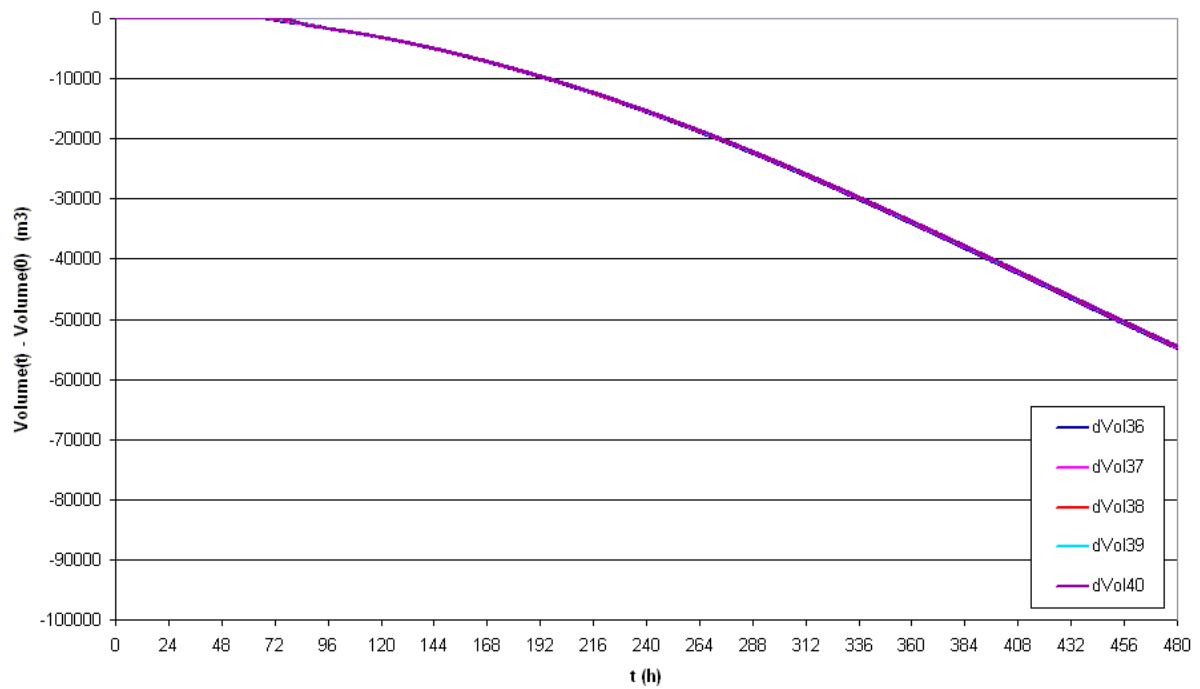


Figura 56

diametri gallerie di 4 m - test TRANS4 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

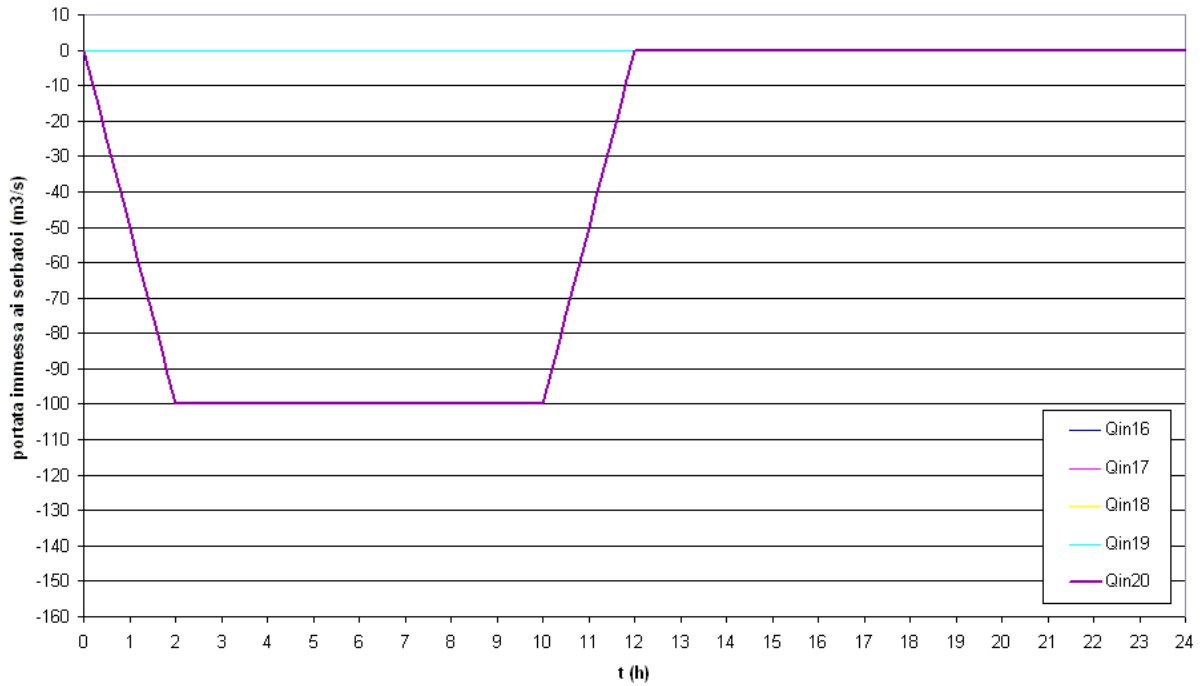


Figura 57

diametri gallerie di 4 m - test TRANS4 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

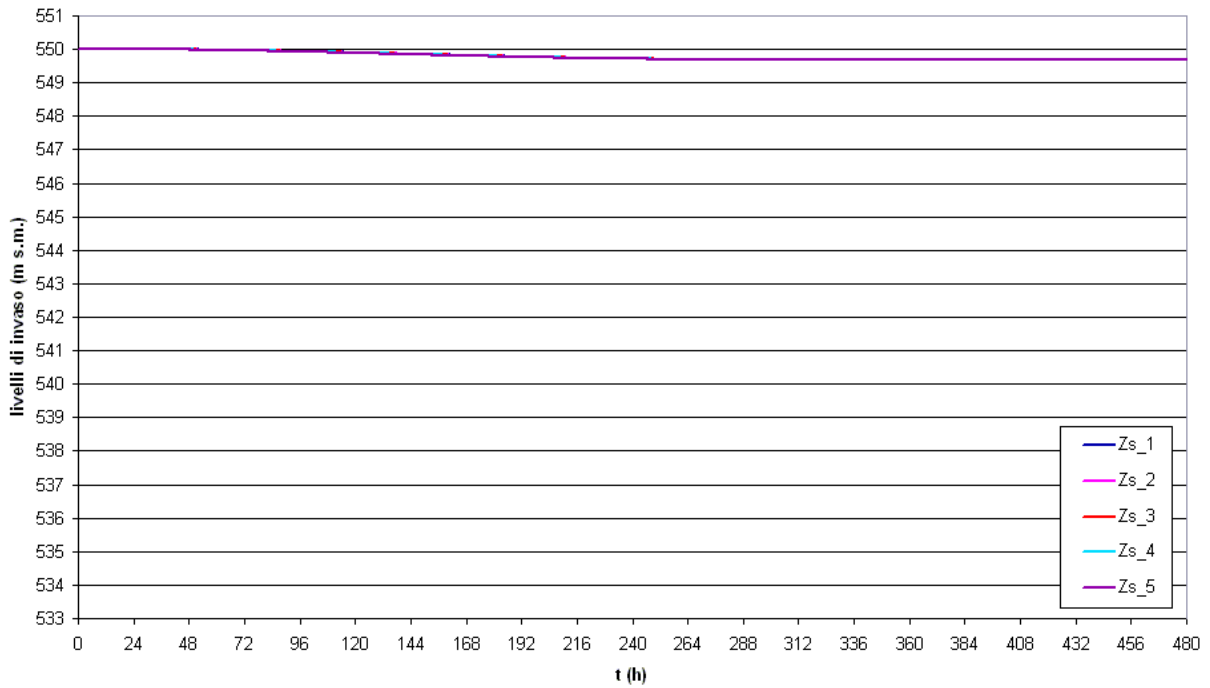


Figura 58

diametri gallerie di 4 m - test TRANS4 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

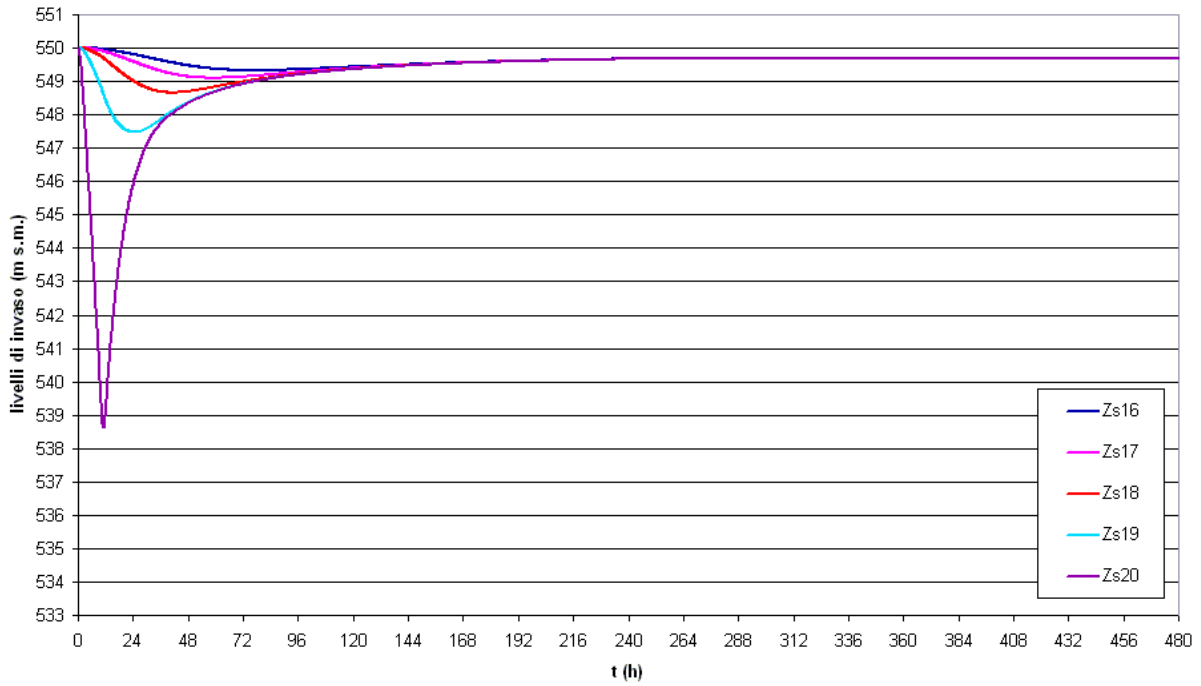


Figura 59

diametri gallerie di 4 m - test TRANS4 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

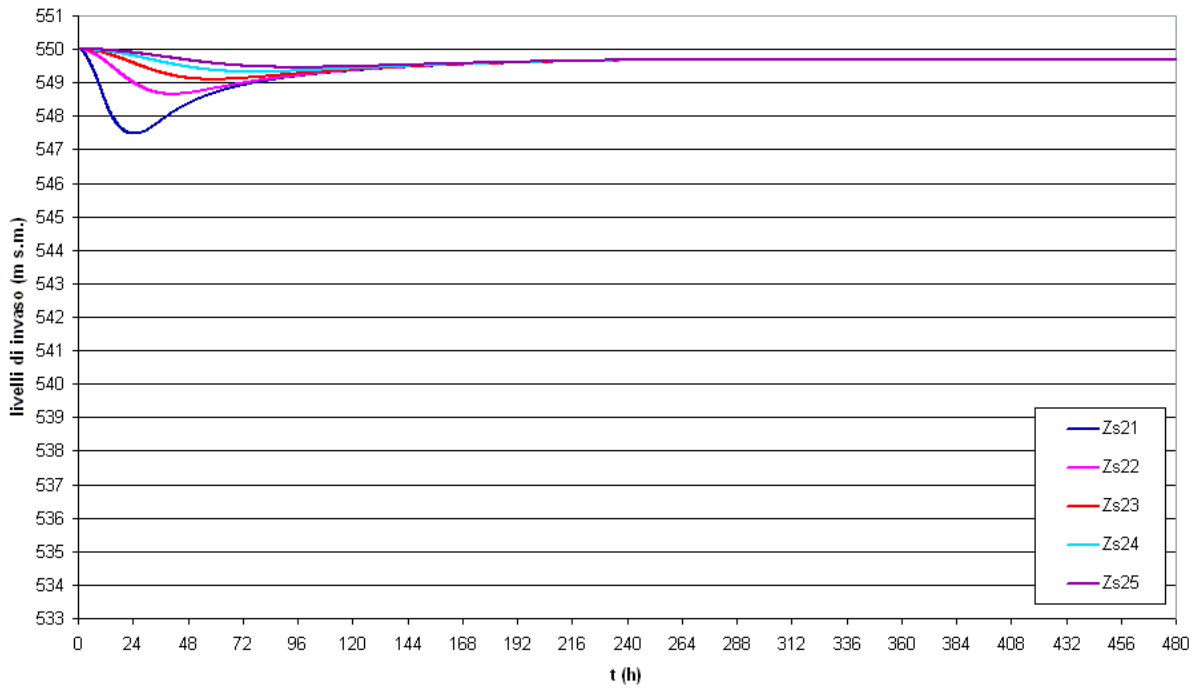


Figura 60

diametri gallerie di 4 m - test TRANS4 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

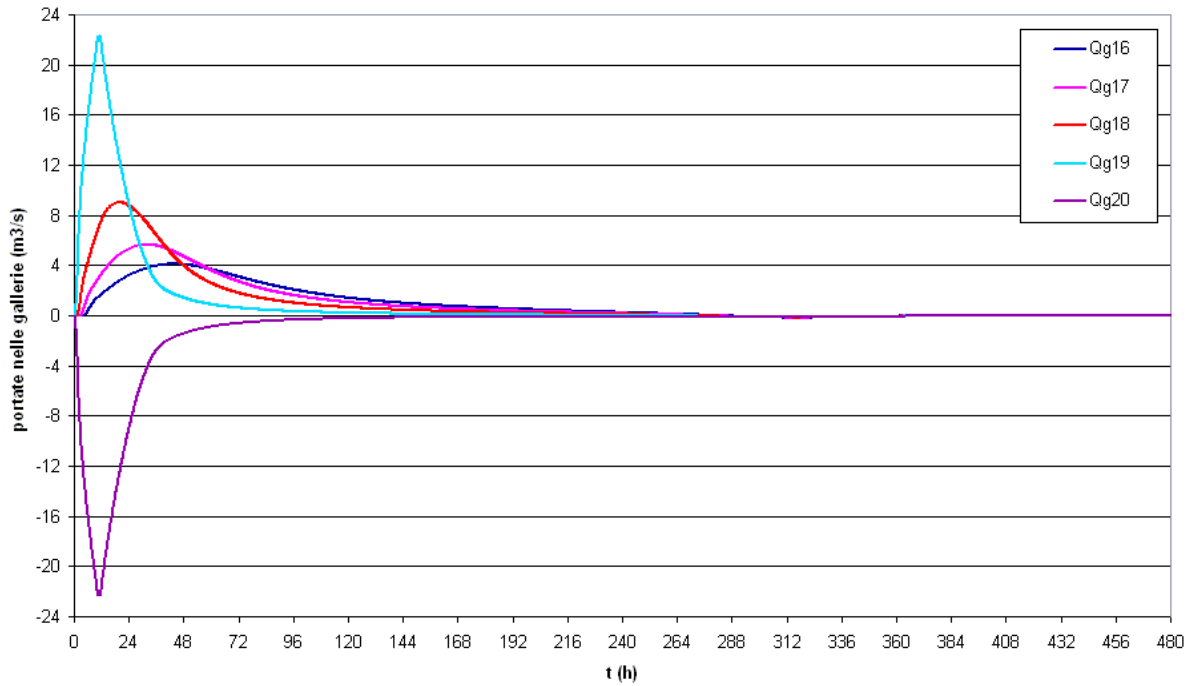


Figura 61

diametri gallerie di 4 m - test TRANS4 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

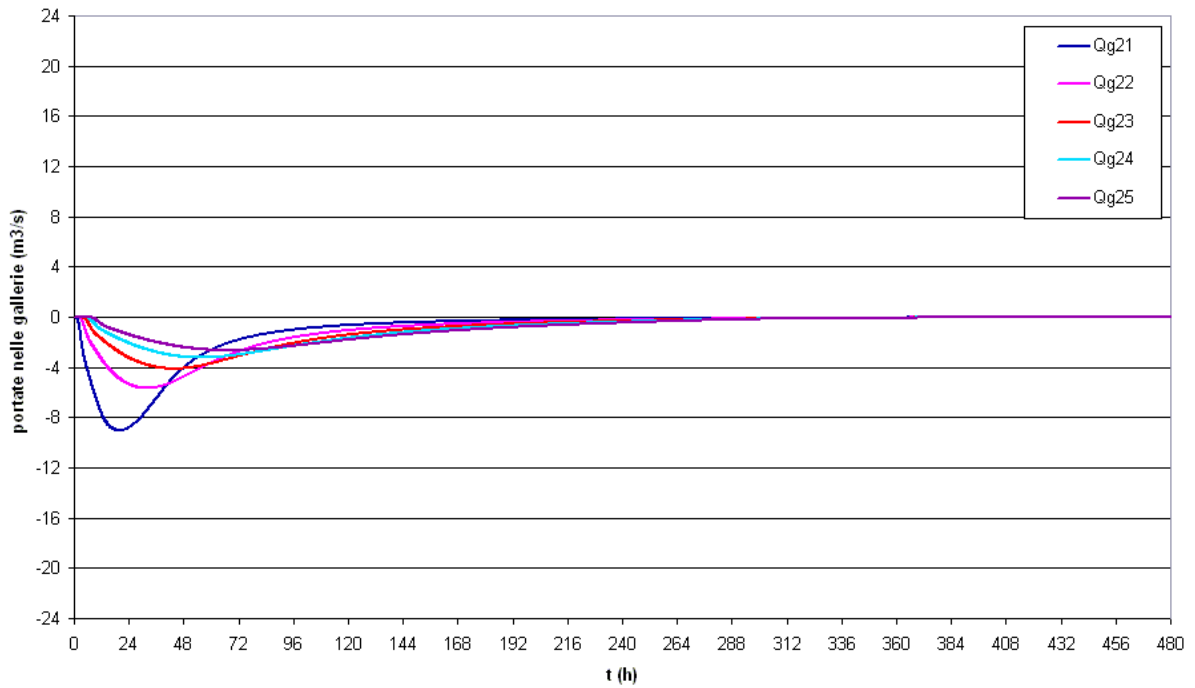


Figura 62

diametri gallerie di 4 m - test TRANS4 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

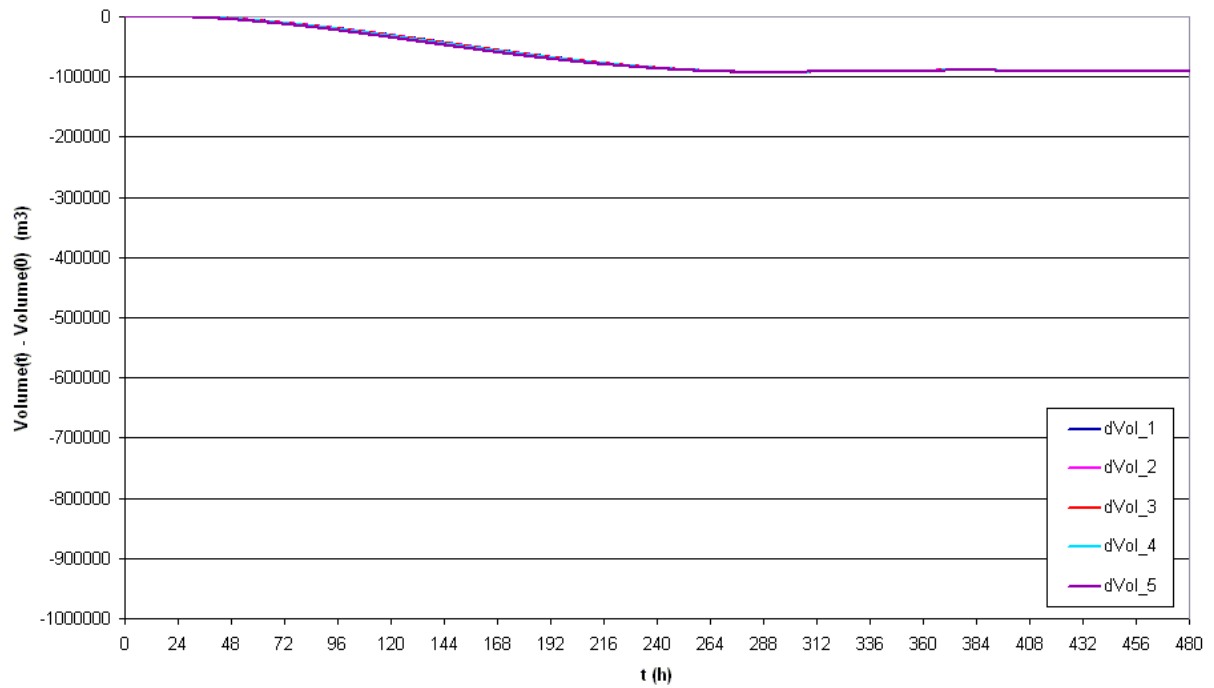


Figura 63

diametri gallerie di 4 m - test TRANS4 con sezioni dei serbatoi variabili con la quota

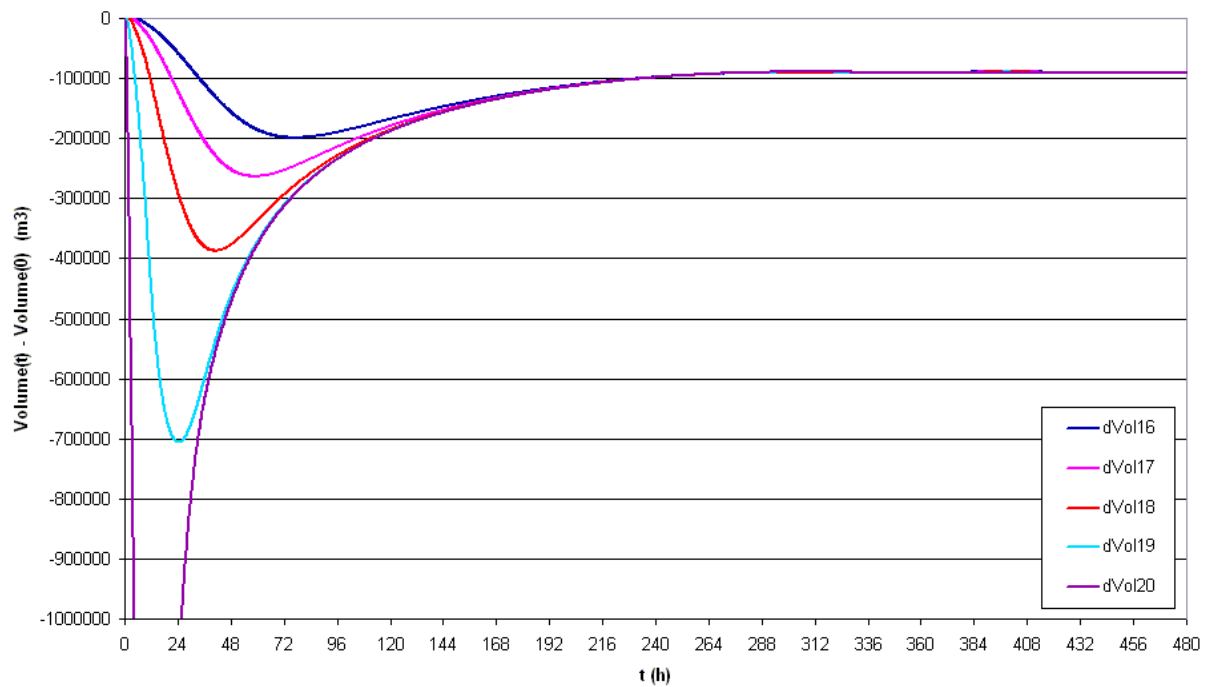


Figura 64

7.12 Commenti sui risultati delle simulazioni numeriche.

Dai risultati delle simulazioni eseguite nell'ipotesi di immissione della piena d uno dei serbatoi estremi del sistema si evince che il diametro di 3 m appare troppo esiguo, risultando in tempi di messa a regime dei serbatoi lontani da quello direttamente soggetto alla piena tendenzialmente lunghi (dell'ordine della diecina o ventina di giorni); occorre dunque orientarsi su un diametro di 4 o preferibilmente 5 m.

Viceversa le pendolazioni di livello tra serbatoi vicini appaiono non temibili, in quanto la lunghezza delle gallerie assicura che sino prevalenti, nel governare le oscillazioni di livello, le resistenze passive che smorzano efficacemente le pendolazioni stesse.

I risultati appaiono più favorevoli, come del resto si poteva intuire, nel caso che la piena interessi direttamente i serbatoi centrali del sistema.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Relazione conclusiva (Atti) della Commissione interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo ('Commissione De Marchi') – Roma, tipografia Edigraf, 1970(900 pagg.; consultabile ma non fotocopiabile presso il dipartimento di Idraulica, Ambiente e Rilevamento del Politecnico di Milano)
- [2] Mario FANELLI, Michele FANELLI, Carlo NICCOLAI: La creazione di riserve idriche tramite sbarramenti, implicazioni ambientali e finanziarie. Rivista "Ingegneria del Agua", Vol 7, N° 4, Dic. 2000, pagg. 375- 390
- [3] Giulio LEONE, 'Le abissali differenze di disponibilità idriche nel nostro Paese - Esiste una possibilità di compensazione?', Articolo su rivista 'L'Acqua' n°4, 2003
- [4] Fred PEARCE, 'A long dry season. Prolonged drought in Mediterranean countries has sparked off a frenzy of engineering projects to save water. Forecasts predict drier times to come'. Scientist, 17 July 1993, Vol.139 No.1882 Page 15
- [5] Ministry of Water Resources of the Popular Republic of China, Brief Introduction of the Planning for South-to-North Water Transfers, sul sito Internet (27 pagg.):
http://www.mwr.gov.cn/english/project_introduction/nsbd/index.htm