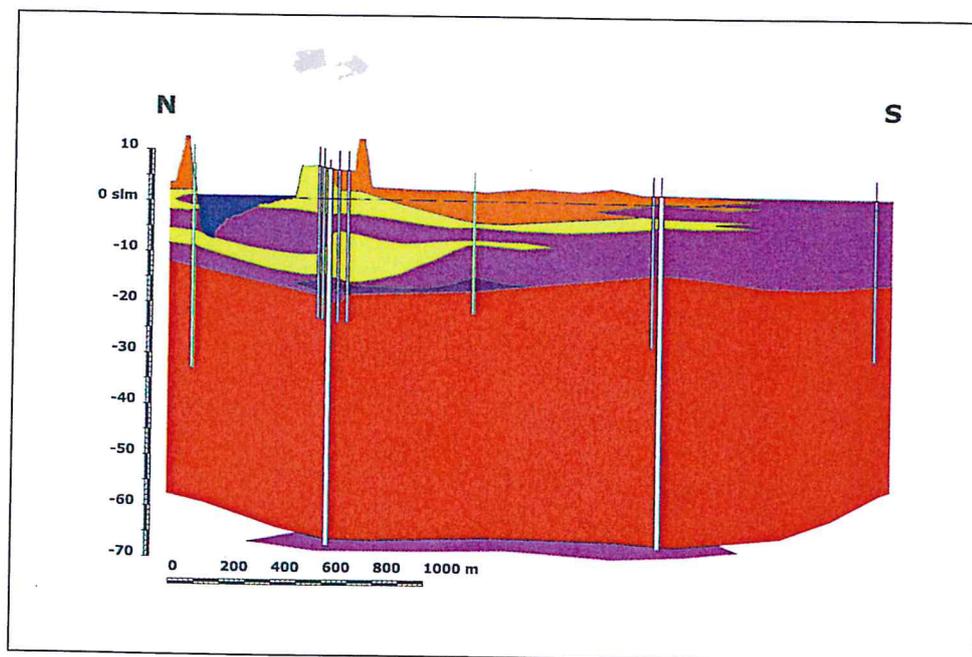


APPROVVIGIONAMENTO E DISTRIBUZIONE IDRICA: ESPERIENZE, RICERCA ED INNOVAZIONE

Memorie del convegno di Ferrara, 28-29 Giugno 2007

a cura di M. Franchini e P. Bertola



Morlacchi Editore

UTILIZZO PLURIMO DEI LAGHI DI CAVA NELLA GESTIONE DELLA RISORSA IDRICA

G. Ravazzani¹, M. Mancini¹ & S. Meucci²

- (1) Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento, Politecnico di Milano, P.za L. da Vinci, 32, 20133 Milano
e-mail: giovanni.ravazzani@polimi.it, marco.mancini@polimi.it
- (2) MMI s.r.l., Modellistica e Monitoraggio Idrologico, Via G. Aselli, 24, 20133 Milano
e-mail: info@mmidro.it

SOMMARIO

L'attività estrattiva nelle aree della pianura lombarda è un tipico esempio del conflitto tra attività produttiva e impatto sull'ambiente. Negli ultimi tempi la più diffusa sensibilità ambientale nonché le indicazioni delle direttive comunitarie sembrano aver acuito la conflittualità rendendo sempre più necessario l'inserimento nella pianificazione e gestione dei piani di estrazione di regole che garantiscano da un lato il rispetto delle esigenze di produzione e dall'altro gli aspetti ambientali. In particolare modo qualora le cave siano localizzate in prossimità dei corsi d'acqua o alimentate da falda superficiale i volumi che si rendono disponibili in seguito all'attività estrattiva sono potenzialmente utilizzabili sia per la mitigazione di eventi di piena che per la gestione delle emergenze idriche. In particolare queste ultime si sono verificate in modo più frequente negli ultimi anni anche in regioni tradizionalmente ricche di acqua. Il lavoro investiga la possibilità di un utilizzo plurimo dei volumi che si rendono disponibili in seguito alla realizzazione di cave di inerti nelle aree golenali dei corsi d'acqua, per la laminazione delle piene ed il sostentamento delle portate di magra. Il caso di studio è quello del fiume Serio nel suo ultimo tratto nel territorio della Provincia di Cremona.

1 INTRODUZIONE

Le principali fonti della risorsa idrica del territorio lombardo utilizzabili per far fronte ai periodi siccitosi si possono evidenziare nei grandi laghi, nei serbatoi artificiali localizzati nella fascia montana, nella falda freatica e nei suoi affioramenti tramite i fontanili nella parte meridionale della pianura. L'utilizzo irriguo, quello idroelettrico e termoelettrico, la salvaguardia del minimo deflusso vitale, insieme ad un'utenza irrigua in evoluzione, allorché si presentano situazioni climatiche caratterizzate da stagioni poco piovose, esasperano il conflitto per lo sfruttamento della risorsa idrica. Nei periodi di emergenza idrica particolarmente critici risulta allora indispensabile una gestione che si muova su regole partecipate tra tutti i portatori di interesse.

La ricorrenza di periodi di emergenza idrica in Lombardia spinge a considerare, a fianco di una gestione migliorabile delle fonti tradizionali, l'uso delle acque dei

numerosi laghi di cava presenti nella regione il cui volume potrebbe essere usato come integratore della richiesta d'acqua nei periodi di crisi irrigua.

Il presente articolo analizza la possibilità di utilizzare i volumi resi disponibili dalla realizzazione di cave di inerti in area golenale, per la laminazione delle piene e per il sostentamento delle portate di magra nel tratto del fiume Serio tra Mozzanica e Crema.

2 L'AREA DI STUDIO

L'area di studio è situata in prossimità del fiume Serio nella Provincia di Cremona a monte della città di Crema.

Il fiume Serio nasce dai laghi del Barbellino a circa 2100 m di quota, tra il Pizzo di Coca ed il Monte Torenà (Prealpi Orobie), in Provincia di Bergamo, e si immette dopo circa 124 km nel fiume Adda nei pressi di Boccasero, in Provincia di Cremona, all'interno della quale percorre circa 32 km.

Il suo corso, intermedio a quello dei fiumi Adda ed Oglio, risulta essere per lunghi tratti ad essi parallelo, e mantiene una direzione N-S anche quando questi piegano verso S-E.

Sezione	Coordinata GB-E	Coordinata GB-N	Area [kmq]
Ponte Cene	1563700	5070360	461
Mozzanica	1555647	5037094	641
Cave	1555997	5026123	711
Crema	1554246	5023321	840
Montodine	1556147	5015009	948

Tabella 1. Caratteristiche principali delle sezioni di interesse.

Nel primo tratto l'elevata pendenza dell'alveo, incassato all'interno di ripide pareti rocciose, lo porta ad assumere un carattere torrentizio sino a Bondione, oltre il quale inizia a percorrere la Valle Seriana, che si presenta come un'area delimitata da rilievi modesti e caratterizzati da fianchi debolmente inclinati. All'altezza di Alzano Lombardo il greto si allarga, ed assume una conformazione di alveo intrecciato sino a raggiungere una larghezza di circa un chilometro a valle di Seriate. In alcuni tratti esso scende rapido assumendo nuovamente caratteristiche torrentizie sino a Mozzanica, in territorio cremasco, oltre la quale le caratteristiche di deflusso si mantengono più regolari grazie anche all'apporto delle numerosi rogge alimentate dai fontanili. In questo tratto la morfologia dell'alveo assume una caratteristica forma a meandri.

Gli affluenti che immettono le loro acque nel fiume Serio sono localizzati soprattutto nella parte alta del bacino; ricordiamo, procedendo da monte verso valle, i torrenti: Bondione, Fiumenero, Valgoglio, Acqualina, Rino, Valzurio, Valle Dei Frati, Fontagnone, Nossana, Riso, Val Vertova, Romna, Valle Rossa, Luio, Albina, Carso, Nesa, Zerra e Morla. Numerosi i canali irrigui, le rogge ed i colatori che scambiano le loro acque con il fiume Serio; in territorio cremonese si riconoscono: Roggia Vidolasca, Roggia Babbiona, Roggia Menasciutto, Roggia Molinara, Roggia Cataletto, Canale Vacchelli, Roggia Rino Fontana, Roggia Cresmiero, Bocchello Oche, Fosso Fuga, Bocchello Ripalta, Roggia Acqua Rossa, Roggia Comuna, Roggia Malcontenta, Roggia Archetta, Roggia Borromea (*Provincia di Cremona*).

Ai fini dell'ana
Figura 1; la posizi
Tabella 1.

2.1 Descrizione

Nello studio si
definita nel docume
2003 e successive
in località Ponte S.
località I Saletti si
Isolotto in comune

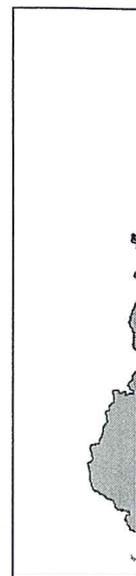


Figura 1. Bacino idro
idrologica (sinist

In Tabella 2 s
menzionati nello st
giacimento residuo
(circa 315.000 m²).
un totale di circa 57

3 IDROLOGIA D

L'analisi idrolog
piena è stata condot
idrogrammi di pien
Queste ultime sor

Ai fini dell'analisi idrologica di piena vengono considerate le sezioni riportate in Figura 1; la posizione e le aree drenate delle suddette sezioni vengono riportate in Tabella 1.

2.1 Descrizione delle cave in studio

Nello studio si sono esaminate tre cave. Facendo riferimento alla nomenclatura definita nel documento del "Nuovo piano cave della provincia di Cremona" del luglio 2003 e successive modifiche (BURL 29 aprile 2004), le cave esaminate sono: ATE g2 in località Ponte Serio S.P. 64 situata nei comuni di Piango e Sergnano; ATE g3 in località I Saletti situata nei Comuni di Crema e Ricengo; ATE g4 in località Cava Isolotto in comune di Crema.

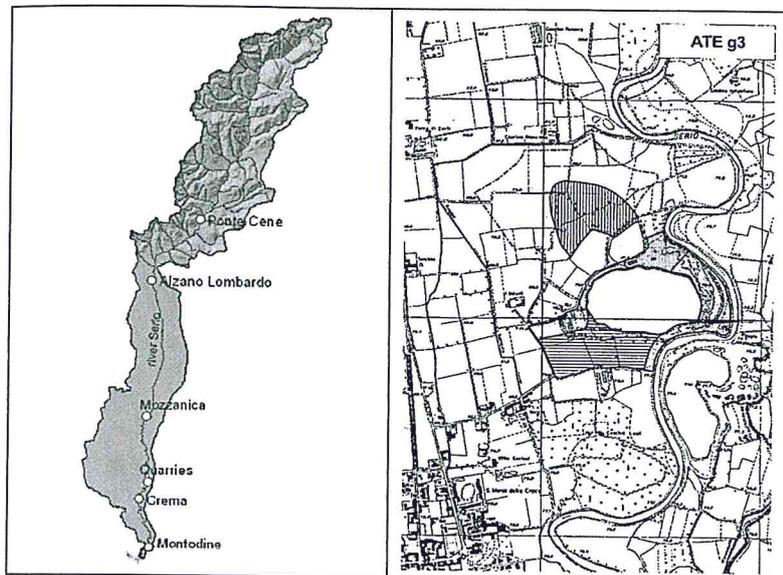


Figura 1. Bacino idrografico del fiume serio con ubicazione delle sezioni di interesse per l'analisi idrologica (sinistra) e particolare della cava ATE g3 nello stato attuale con evidenziato la superficie di sfruttamento futura (destra).

In Tabella 2 si riportano alcuni dati importanti dei tre ambiti estrattivi sopra menzionati nello stato attuale e nello stato futuro, ad intervento di ampliamento del giacimento residuo terminato. La Tabella 2 evidenzia come le superfici di lago attuali (circa 315.000 m²) possano essere quasi raddoppiate con gli ampliamenti delle cave per un totale di circa 574.000 m² (come previsti dal piano cave).

3 IDROLOGIA DI PIENA

L'analisi idrologica finalizzata all'individuazione delle portate e degli idrogrammi di piena è stata condotta attraverso una metodologia indiretta che utilizza per la stima degli idrogrammi di piena le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica dell'area in studio. Queste ultime sono calcolate con la distribuzione statistica del valore estremo

generalizzato (GEV) in accordo con l'analisi regionale proposta dallo studio VAPI del CNR (CNR-GNDICI, 1999). I parametri ricavati dal progetto VAPI per i pluviometri rappresentativi dell'area studiata sono stati interpolati sull'area di studio con il metodo della distanza inversa.

In particolare per tener conto della differenza di piovosità tra la zona montana e quella di pianura il dominio di interpolazione della zona di monte viene delimitato alla sezione di Ponte Cene, mentre per quello della zona di pianura si è considerato l'influenza dei pluviometri ricadenti sulle aree di valle fino alla sezione di confluenza in Adda (Figura 2).

	Stato attuale				Espansione futura		
	Superficie (m ²)	Livello falda (mslm)	Perimetro lago (m)	Profondità lago (m)	Superficie (m ²)	Perimetro lago (m)	Profondità lago (m)
ATE g2	51'400	81.60	812	16	0	0	-
ATE g3	163'250	75.00	1'895	15	160'000	4'050	15
ATE g4	100'200	73.90	1'400	15	98'600	2'400	15
Totali	314'850				258'600		

Tabella 2. Parametri significativi delle cave in studio.

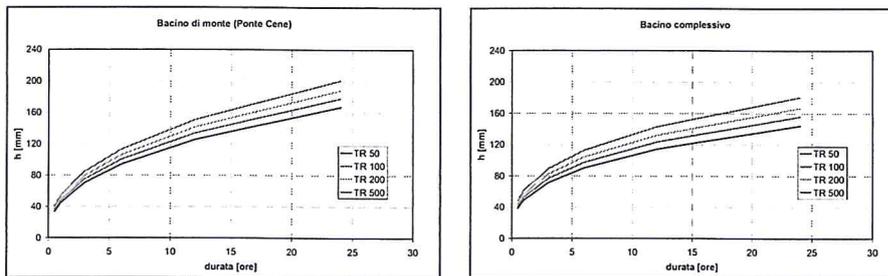


Figura 2. Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica rappresentative per il bacino alpino sotteso alla sezione di Ponte Cene (sinistra) e caratteristiche del bacino complessivo (destra).

Le portate al colmo di piena sono state stimate utilizzando il modello idrologico distribuito FEST (Mancini, 1990; Montaldo et al., 2002; Montaldo et al., 2004; Montaldo et al., 2007). Il modello richiede in ingresso il parametro distribuito della capacità di assorbimento del terreno (Curve Number) e l'informazione per la corretta propagazione della portata sui versanti e nel reticolo idrografico con il metodo Muskingum-Cunge.

La stima delle portate di progetto per assegnato tempo di ritorno è condotta considerando la condizione sfavorevole di terreno saturo (AMC3). La ricerca delle portate al colmo può condursi applicando il concetto di evento critico per la portata al colmo per la precipitazione di assegnato periodo di ritorno.

In tal modo si ricava la durata di pioggia che massimizza la portata al colmo dell'idrogramma risultante. Il valore di portata al colmo fornisce la portata temibile per assegnato tempo di ritorno nella sezione idrografica considerata (Figura 3).

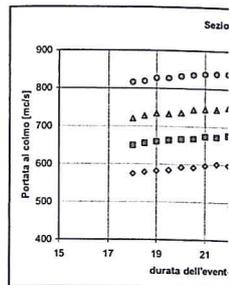


Figura 3. Stima delle portate al colmo di piena. La sezione sinistra si rappresenta l'area di studio. I simboli rappresentano gli afflussi-deflussi FEST rappresentati gli idrogrammi.

3.1 Effetto di lan

Per valutare l'effetto dell'ampliamento possono essere utilizzati il modello idraulico e il modello idrologico.

Il dominio di studio che si estende dal Corno di Crema per circa 12,6 km, è stato rilevato nell'ambito della fattibilità della sistemazione della confluenza in Po, - del fiume Serio nel tratto di monte, che insieme con la costruzione di geometrie risultante sono state

La schematizzazione del modello numerico e la quantificazione è ricca di dati.

La disponibilità di dati per la Cave Provinciale, può essere subito detto che la giustificazione della scelta dei loro volumi di lavoro e quindi all'au

In Tabella 3 vengono indicati i dati per eventuali ulteriori am

L'effetto di laminazione è invasabile di 1'457'000 m³. La Cave (con circa 2.5 n) sull'idrogramma con comporta un aument

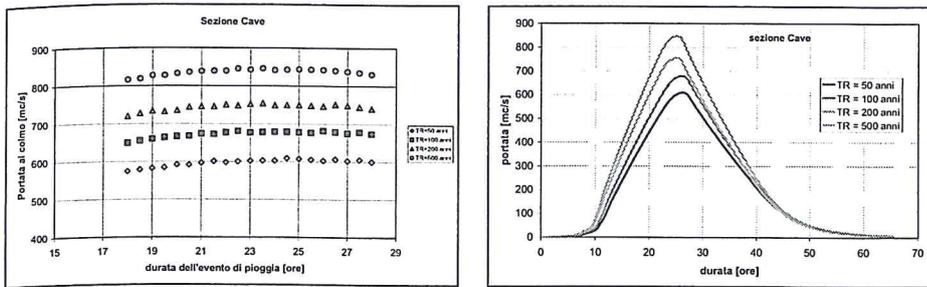


Figura 3. Stima delle portate al colmo e degli idrogrammi mediante ricerca dell'evento critico. A sinistra si rappresenta l'andamento dei massimi di piena stimati con il modello di trasformazione afflussi-deflussi FEST per i diversi tempi di ritorno per la sezione delle cave. A destra vengono rappresentati gli idrogrammi di piena corrispondenti all'evento critico per la stessa sezione.

3.1 Effetto di laminazione dei volumi di cava

Per valutare l'effetto di laminazione che i bacini di cava esistenti e di futuro ampliamento possono esercitare sulle onde di piena del Fiume Serio, è stato ricostruito il modello idraulico del Fiume Serio.

Il dominio di studio è costituito dall'asta del fiume e dalla relativa piana golenale che si estende dal Comune di Sergnano fino ai confini comunali sud del Comune di Crema per circa 12,6 km. Lungo tale tratto sono state utilizzate 30 sezioni trasversali rilevate nell'ambito dell'attività dell'Autorità di Bacino del Fiume Po "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica: - del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po, - del fiume Brembo nel tratto da Lenna alla confluenza in Adda, - del fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda" e numerate da valle verso monte, che insieme al modello digitale delle quote ed alle ortofoto sono servite a costruire la geometria del modello di propagazione di piena (Figura 4) in base alle cui risultanze sono state delimitate le aree allagate.

La schematizzazione del comportamento idraulico delle singole cave all'interno del modello numerico viene effettuata come un volume di laminazione la cui quantificazione è ricavata dalla curva di invaso di ciascuna cava.

La disponibilità delle cave in alveo, nonché il loro sviluppo come previsto nel Piano Cave Provinciale, può produrre una riduzione dei livelli di piena nelle sezioni di Crema. Va subito detto che l'attuale capacità di smaltimento delle sezioni in esame non giustificerebbe la costruzione di vasche di laminazione, tuttavia la presenza delle cave e dei loro volumi disponibili nella golena dell'alveo può contribuire alla riduzione dei livelli e quindi all'aumento dei franchi di sicurezza.

In Tabella 3 vengono riportate l'efficienza di laminazione (η) e le portate laminate dai laghi di cava per lo scenario attuale, con l'espansione prevista dal Piano Cave e con eventuali ulteriori ampliamenti.

L'effetto di laminazione delle cave sulle portate di piena, a fronte di un volume invasabile di 1'457'000 m³ relativo allo sviluppo futuro di estensione previsto dal Piano Cave (con circa 2.5 m di battente) induce una laminazione della portata di circa 70 m³/s sull'idrogramma con portata al colmo di 200 anni di periodo di ritorno. Tale riduzione comporta un aumento del franco di sicurezza nelle sezione dell'abitato di Crema, che

nello stato attuale ha franchi di sicurezza minori di 1 metro.

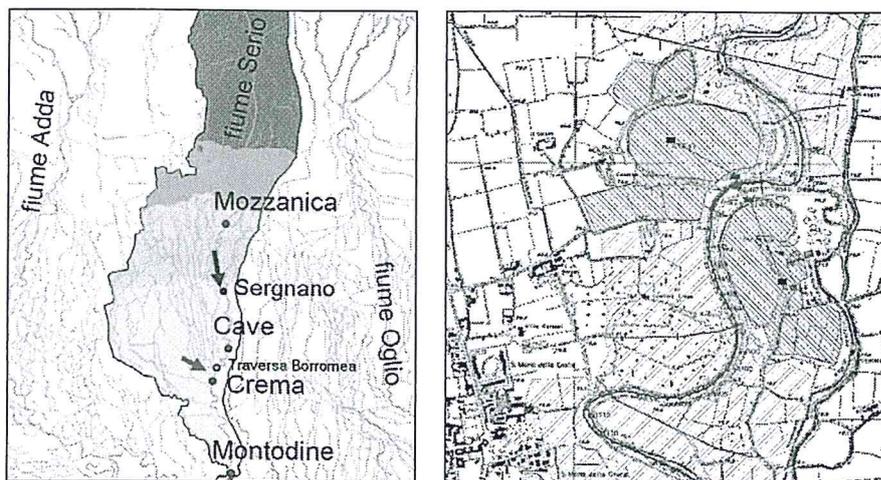


Figura 4. A sinistra Il bacino del Fiume Serio ed il relativo reticolo idrografico, con evidenziate le sezione dell'analisi idrologica (punti blu). La freccia rossa indica il punto di immissione degli idrogrammi di piena, condizione al contorno di monte del modello idraulico; la freccia rossa l'immissioni a valle della Traversa Borromea (punto verde). A destra tratto in corrispondenza delle cave ATEg3 e ATEg4: esempio di alveo attivo ed aree di invaso golenale in cui la velocità della corrente è ipotizzata nulla.

	Q _{in} (m ³ /s)	Q _{out} (m ³ /s)	W ATEg3 (m ³)	W ATEg4 (m ³)	W _{tot} (m ³)	Stot (ha)	η (-)
stato attuale	724	693	503163	345915	849078	31.4	0.04
Ampliamento Piano Cave	724	651	775935	681174	1457109	56.4	0.10
Ampliamento Piano Cave +20 ha	724	635	1053504	1033794	2087298	76.4	0.12
Ampliamento Piano Cave +40 ha	724	626	1270350	1325925	2596275	96.4	0.14

Tabella 3. Efficienza di laminazione per l'idrogramma di piena con tempo di ritorno di 200 anni nello stato attuale e considerando l'ampliamento previsto dal piano cave e due scenari ulteriori di espansione che prevedono l'allargamento di 20 e 40 ettari. Si riportano nell'ordine la portata al colmo a monte delle cave, la portata a valle delle cave, il volume utile della cava ATEg3, quello della cava ATEg4, il volume utile totale, la superficie totale occupata dai laghi di cava e l'efficienza di laminazione.

4 IDROLOGIA DI MAGRA

L'analisi della disponibilità idrica in alveo è condotta attraverso la curva di durata delle portate che, nel caso in esame, in assenza di misure idrometriche sufficienti, è stimata con metodi di regionalizzazione (Bartolini *et al.*, 2004) opportunamente validati per l'area oggetto del presente studio. Secondo tale procedura la curva di durata delle portate può essere scritta come:

dove D indica la c
funzione di densità di

Dove $y = \ln(q)$ ind

Dove S indica la s
metri. La scelta dei v
con una procedura ite
Cene (Tabella 4). In s
per la definizione de
strumentate.

a_1

0.0216

Tabella 4. Valori dei

Successivamente
delle derivazioni pres
depuratori desunte da
Figura 5 viene riport
ricostruita alla sezion

Il deflusso minim
naturale secondo le d
Lombardia, al quale s

$$D(q) = 365[1 - F_q(q)] \quad (1)$$

dove D indica la durata in giorni, q la portata in m^3/s e F_q la frequenza cumulata. La funzione di densità di probabilità adottata è la lognormale:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{y - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2\right\} \quad (2)$$

Dove $y = \ln(q)$ indica la variabile ridotta e:

$$\sigma_y^2 = \ln\left[\left(\frac{\sigma_q}{\mu_q}\right)^2 + 1\right] \quad (3.a)$$

$$\mu_y = \ln(\mu_q) - 0.5\sigma_y^2 \quad (3.b)$$

$$\mu_q = a_1 S^{b_1} H^{c_1} \quad (3.c)$$

$$\sigma_q = a_2 S^{b_2} H^{c_2} \quad (3.d)$$

Dove S indica la superficie del bacino in km^2 e H l'altezza media di pioggia annua in metri. La scelta dei valori da attribuire ai parametri $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ è stata effettuata con una procedura iterativa di calibrazione basata sui dati osservati alla sezione di Ponte Cene (Tabella 4). In seguito alla fase di calibrazione, l'equazione 1 può essere utilizzata per la definizione della curva di durata delle portate naturali anche per sezioni non strumentate.

a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2
0.0216	0.99	1.43	0.023	0.924	1.148

Tabella 4. Valori dei parametri per la stima della curva di durata delle portate medie naturali.

Successivamente tale curva viene modificata in quella "antropizzata" tenendo conto delle derivazioni presenti sul corso d'acqua e delle immissioni dovute ad acquedotti e depuratori desunte dal Piano di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia. In Figura 5 viene riportata la curva di durata media delle portate naturali e antropizzate ricostruita alla sezione delle cave (bacino sotteso di $711 km^2$).

Il deflusso minimo vitale (DMV) è calcolato come il 10% della portata media annua naturale secondo le disposizioni del Piano di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia, al quale si rimanda per maggiore approfondimento.

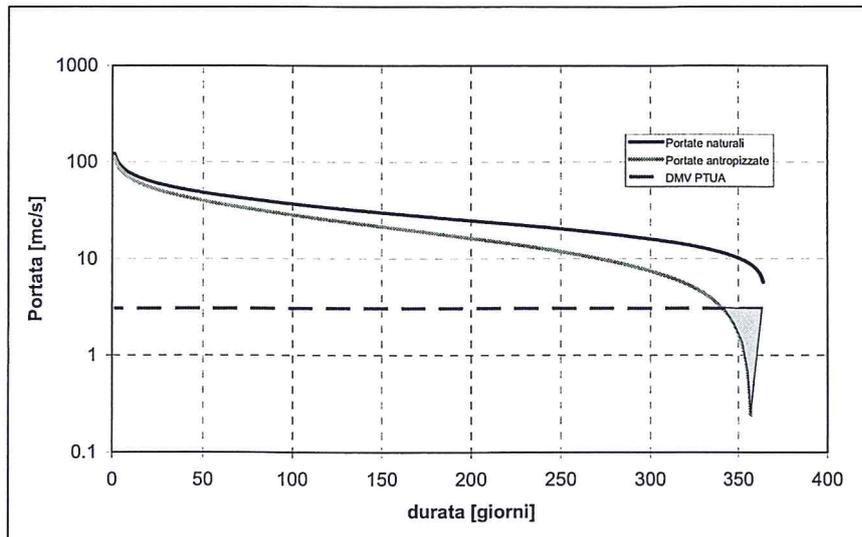


Figura 5. Curva di durata delle portate per la sezione a valle delle cave (portate naturali, antropizzate e DMV).

Dalla Curva di Durata si evince come per 24 giorni la portata antropizzata sia inferiore al DMV, per un deficit (zona azzurra) di acqua pari a circa 3.700.000 m³ che sarebbe necessario al fine di soddisfare la condizione di DMV con le richieste di derivazione di monte. Il volume di acqua disponibile nello stesso periodo (24 giorni) nel Serio risulta pari a 2.600.000 m³.

Non è stato possibile ricostruire la curva di durata del 2003, ricordato come uno degli anni più siccitosi, in quanto i dati della stazione di Ponte Cene e della stazione di Montodine non sono più affidabili per un probabile cattivo funzionamento dello strumento.

4.1 Utilizzo dei volumi invasati nelle cave

Di seguito si riportano degli scenari di utilizzo dei volumi idrici presenti nei laghi di cava al fine di cercare di garantire a valle sia le derivazioni irrigue che il DMV partendo dal volume idrico esistente nel Serio come risulta dalle curve di durata.

In particolare il Piano di Tutela delle acque individua a valle della zona delle cave ancora tre derivazioni importanti; una di circa 1.4 m³/s corrispondente alla Roggia Borromea e due a valle di Crema che sono la roggia Malcontenta (0.44 m³/s) e altre piccole derivazioni (0.42 m³/s) per un totale di 2.26 m³/s, che costituisce la portata da destinare ad uso irriguo. Tale valore sommato alla portata di Deflusso Minimo Vitale, pari a 3.06 m³/s, è la portata necessaria al Serio.

L'utilizzo dei volumi di cava è stato considerato nel caso di ampliamento delle cave secondo quanto previsto nel piano provinciale per una superficie complessiva di circa 573'450 m². In particolare sono stati analizzati 3 possibili utilizzi dei volumi idrici: il primo che garantisce il DMV e le portate irrigue di monte ($Q_{irr\ m,le\ cave}$); il secondo che sfrutta le cave per garantire la portata irrigua a valle ($Q_{irr\ v,le\ cave}$) e il terzo che garantisce la prima e la seconda situazione (Figura 6).

Per il primo caso, per il monte, sono necessari 3 laghi di cava di circa 6.5

Nel secondo caso, presente (curva durata) e valle pari a 2.26 m³/s att notano i seguenti scenari:

- abbassando di circa 1.150.000 m³ che c
- abbassando di circa 2.300.000 m³ che c
- abbassando di circa 3.150.000 m³ che c

Nel terzo caso, se s valle e il DMV sarebbe risulta maggiore del v situazione di espansione

In conclusione i vol sostegno della portata naturalmente occupano temporaneo di circa 5.5 magra a valori sufficienti circa 16 giorni. Lo stesso alveo pari al Deflusso I Tutela delle acque regionali entrambe le condizioni disponibili nei laghi. Util in funzione delle richieste

4.2 Tempi di svuotamento

Nello studio è stato svuotamento e di rieducabilità idraulica c

Va detto che un'analisi tra cui anche prove in s rende necessaria una semplificazione di cui so acquifero lo schema de stato possibile valutare riempimento.

In tale analisi è stata conducibilità idraulica quindi stati utilizzati tr Tutela delle Acque, K= maggiore e cioè pari a considerare contributi d

In questa fase

Per il primo caso, per soddisfare il DMV garantendo anche le portate irrigue di monte, sono necessari $3.700.000 \text{ m}^3$ di acqua corrispondenti ad un abbassamento dei laghi di cava di circa 6.50 m.

Nel secondo caso, ipotizzando invece di non garantire il DMV ma la portata presente (curva durata) e voler immettere nel Serio la portata irrigua delle derivazioni di valle pari a $2.26 \text{ m}^3/\text{s}$ attraverso lo sfruttamento del volume di acqua dei laghi di cava si notano i seguenti scenari:

- abbassando di circa 2.0 m il livello dei laghi di cava si ottiene un volume di circa $1.150.000 \text{ m}^3$ che corrisponde alla portata irrigua per 6 giorni
- abbassando di circa 4.0 m il livello dei laghi di cava si ottiene un volume di circa $2.300.000 \text{ m}^3$ che corrisponde alla portata irrigua per 12 giorni
- abbassando di circa 5.50 m il livello dei laghi di cava si ottiene un volume di circa $3.150.000 \text{ m}^3$ che corrisponde alla portata irrigua per 16 giorni

Nel terzo caso, se si volesse garantire contemporaneamente le portate derivate a valle e il DMV sarebbe necessario un volume di circa $10'000'000$ di m^3 , valore che risulta maggiore del volume di tutti i laghi di cava pari a circa $8'600'000 \text{ m}^3$ nella situazione di espansione futura.

In conclusione i volumi idrici disponibili in cava, hanno una grande rilevanza sul sostegno della portata di magra in quanto la disponibilità di tali volumi, che naturalmente occupano le cave di pianura, permette, a fronte di un abbassamento temporaneo di circa 5.5 m del livello idrico in cava, di mantenere in alveo la portata di magra a valori sufficienti a garantire le portate irrigue a valle delle cave ($2.26 \text{ m}^3/\text{s}$) per circa 16 giorni. Lo stesso abbassamento garantisce un mantenimento della portata in alveo pari al Deflusso Minimo Vitale ($3.06 \text{ m}^3/\text{s}$ calcolato come proposto nel piano di Tutela delle acque regionale) per circa 12 giorni. Viceversa non è possibile garantire entrambe le condizioni sopra riportate perché il volume necessario è superiore a quello disponibile nei laghi. Una diversa gestione di tale volume idrico è comunque possibile in funzione delle richieste dei diversi portatori di interesse.

4.2 Tempi di svuotamento ed area di influenza

Nello studio è stata effettuata anche l'analisi che permette una stima dei tempi di svuotamento e di riempimento del sistema cave nelle ipotesi semplificative di conducibilità idraulica costante ed isotropa nell'intorno delle cave.

Va detto che un'analisi di maggior dettaglio richiederebbe quegli approfondimenti, tra cui anche prove in sito, che sono tipici di fasi di progettazione successiva, in cui si rende necessaria una modellistica di dettaglio del sistema. Tuttavia nelle ipotesi semplificative di cui sopra e assumendo valido per la simulazione dell'interazione cava acquifero lo schema della trincea drenante di lunghezza pari al perimetro della cava è stato possibile valutare i tempi di svuotamento del sistema e quelli successivi di riempimento.

In tale analisi è stata valutata la sensitività del tempo di riempimento al valore della conducibilità idraulica satura stante l'estrema variabilità del parametro in esame. Sono quindi stati utilizzati tre diversi valori della permeabilità: quella ricavata dal Piano di Tutela delle Acque, $K=3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$, un secondo valore assunto un ordine di grandezza maggiore e cioè pari a $3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ ed infine un valore molto basso $K=3 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ per considerare contributi dell'acquifero pressoché nulli.

In questa fase l'insieme delle cave è visto come un unico lago di superficie

paria $573'450 \text{ m}^2$ da cui viene emunta una portata di $2.26 \text{ m}^3/\text{s}$ pari al fabbisogno idrico di valle.

Il calcolo dello svuotamento della cava è eseguito mediante la ben nota equazione di continuità

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = Q_i - Q_u \quad (4)$$

La portata in ingresso alla cava è ricavabile dalla equazione:

$$Q_i = (h_2^2 - H_c^2) \frac{K P}{2L} \quad (5)$$

dove h_2 è il livello della falda indisturbata, che si ritrova alla distanza $L(\text{m})$ dalla trincea, $P(\text{m})$ è il perimetro della trincea, K la conducibilità idraulica satura (m/s) (Citirini, 1982).

Poiché nell'equazione precedente compaiono come incognite L e Q si è utilizzata una stima empirica della lunghezza L in funzione della differenza piezometrica e della conducibilità idraulica:

$$L = 573(h - H) \sqrt{Kh} \quad (6)$$

che fornisce il valore della distanza di influenza a regime.

I tempi di svuotamento del sistema cave sono diagrammati nella figura 6 per un emungimento pari alla richiesta irrigua di valle ($2.26 \text{ m}^3/\text{s}$).

K (m/s)	t svuotamento (giorni)
$3 \cdot 10^{-9}$	19
$3 \cdot 10^{-5}$	22
$3 \cdot 10^{-4}$	29

Tabella 5. Tempo di svuotamento del volume disponibile in cava $3'150'000 \text{ m}^3$ per abbassamento di 5.5 m in funzione della permeabilità idraulica.

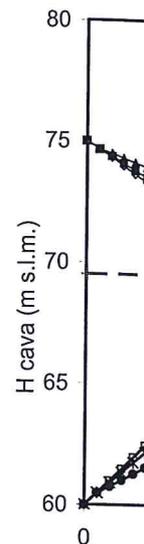


Figura 6. Andamento de assegnata portata ($Q_i = 2.26 \text{ m}^3/\text{s}$) (secondario). Si osservi l'andamento della portata raggiunge

Nel diagramma sono riportati i volumi di emunta della cava, $Q_i = 0$ ossia con due valori di conducibilità idraulica K e per ciascun valore di K i tempi di svuotamento vengono determinati.

Al fine di verificare la validità della piezometria circostante la cava, si è calcolato il tempo di svuotamento relativo superficie piezometrica della cava. L'equazione della s

dove:

L è calcolato secondo l'equazione (6) e h_2 è calcolato rispettivamente per i due valori di K .

Q rappresenta la portata massima di emunta della cava per il massimo abbassamento per $K = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ e $Q_i = 2.26 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nella figura 7 è

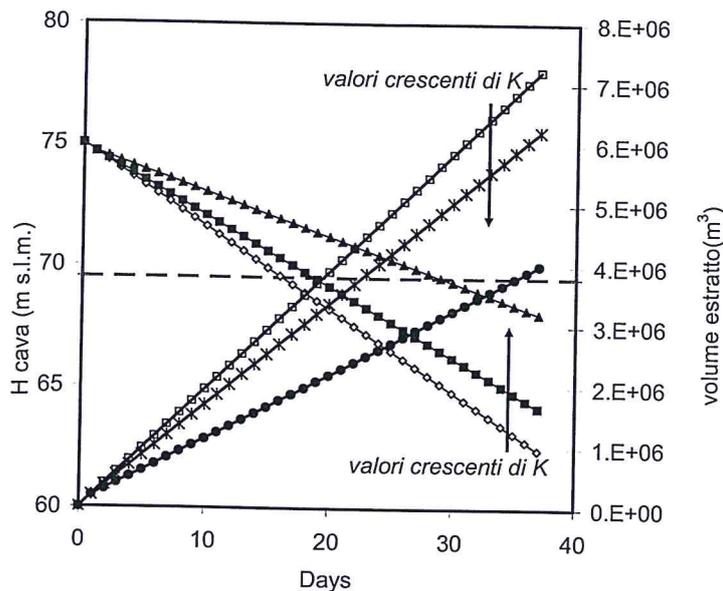


Figura 6. Andamento degli abbassamenti nel sistema cave (linee decrescenti, asse principale) per assegnata portata (Q irrigua = $2.26 \text{ m}^3/\text{s}$) e relativi volumi emunti (linee crescenti, asse secondario). Si osservi l'influenza della conducibilità idraulica sul numero di giorni necessario a raggiungere la quota del massimo abbassamento imposto di 69.5 m .

Nel diagramma sono riportati i tempi di svuotamento e l'effettivo contributo della cava (volumi di emungimento) calcolati sia in condizione che la portata di afflusso in cava, $Q_i = 0$ ossia conducibilità idraulica molto bassa ($K = 3 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$); sia con $Q_i > 0$ per i due valori di conducibilità idraulica $K = 3 \cdot 10^{-4}$ e $3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. Il numero di giorni è fornito dall'intersezione della curva degli abbassamento con il massimo abbassamento fissato e pari di 5.5 m a quota 69.5 . Il grafico per completezza fornisce anche per ciascun valore di K gli effetti di un pompaggio prolungato a più giorni. I tempi di svuotamento vengono riassunti nella Tabella 5.

Al fine di verificare gli effetti dell'abbassamento nei laghi di cava sulla falda e sulla piezometria circostante è stato calcolato per ciascuna lunghezza di influenza riportata la relativa superficie piezometrica e quindi il suo effetto sulla pianura circostante.

L'equazione della superficie piezometrica è data da:

$$h_2 = \left(H^2 + \frac{Q2L}{KP} \right)^{0.5} \quad (7)$$

dove:

L è calcolato secondo l'espressione empirica sopra riportata ed è pari a 472 m e 149 m rispettivamente per i valori di $K = 3 \cdot 10^{-4}$ e a $K = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

Q rappresenta la portata, drenata da ciascuna cava, di perimetro P , nel caso di massimo abbassamento di 5.5 m , con una portata per unità di lunghezza, $Q/P = 0.08 \text{ l/s}$ per $K = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ e $Q/P = 0.24 \text{ l/s}$ per $K = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

Nella figura 7 è riportato l'andamento piezometrico lungo una sezione tipo

corrispondente alla condizione di abbassamento di 5.5 m dei laghi di cava rispettivamente per valori della conducibilità idraulica pari a $K=3 \cdot 10^{-4}$ m/s (curva rossa) e a $K=3 \cdot 10^{-5}$ m/s (curva magenta).

L'analisi delle superfici piezometriche evidenziano una possibile interazione tra l'abbassamento dei laghi di cava e l'eventuale livello idrico del subalveo del Fiume Serio, anche se è ipotizzabile trascurabile tale interazione perchè il fondo dell'alveo del Serio è caratterizzato da depositi fini che ne riducono in modo consistente la conducibilità idraulica.

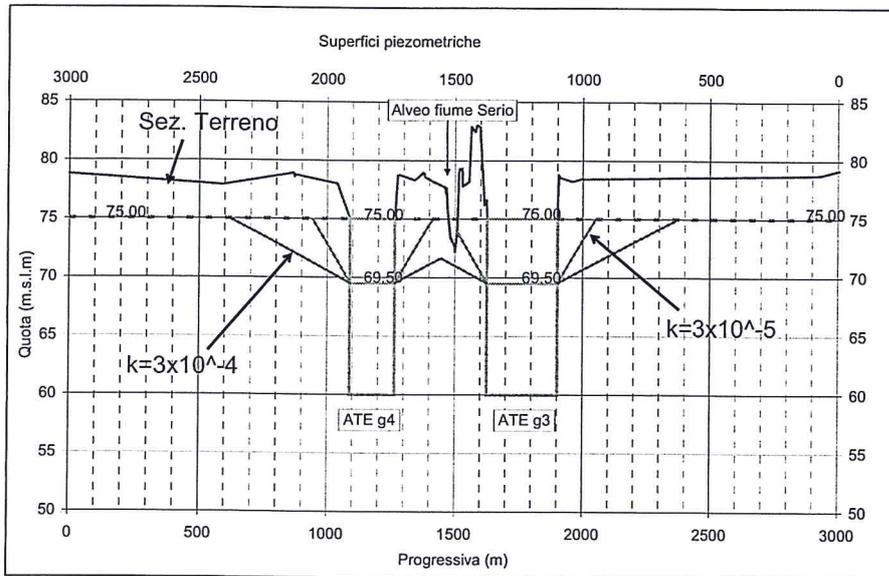


Figura 7. Schema tipo della sezione del terreno (marrone) in corrispondenza delle cave ATE43 e ATEg4 con evidenziati i livelli piezometrici per il massimo abbassamento di 5.5 m rispettivamente per valori della conducibilità K pari a $3 \cdot 10^{-5}$ m/s (linea magenta) e K pari a $3 \cdot 10^{-4}$ m/s (linea rossa).

4.3 Tempo di riempimento dei laghi di cava

In modo analogo al calcolo dello svuotamento, ma per portata erogata al corso d'acqua nulla, è stato calcolato il tempo di riempimento, quello cioè necessario a riportare il livello in cava (H) in equilibrio con la falda circostante (h_2) nell'ipotesi che non intervengano eventi meteorici o antropici (piogge o irrigazione delle aree di monte), che innalzino il valore di quest'ultimo.

Nella figura seguente si riporta a titolo di esempio il solo caso della Cava ATEG3, in quanto le altre presentano comportamento analogo.

Dal grafico si evince come il numero dei giorni per il riempimento delle cave oscilla da 20 e 63 per $K=3 \cdot 10^{-4}$ e $3 \cdot 10^{-5}$ m/s rispettivamente.

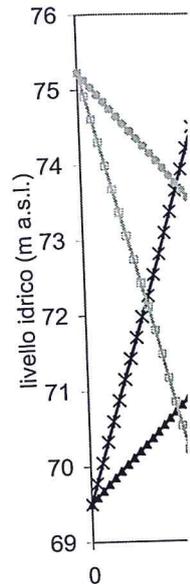


Figura 8. Andamento ingresso. I

5 CONCLUSION

Lo studio evidenzia l'importanza dei laghi di cava come riserva idrica nei periodi di magra.

L'effetto di una portata di acqua non recuperabile di 1'457 Cave (con circa 2 mc/sec sull'idroglico) riduce il consumo di acqua in pianura, che nello stesso periodo di magra, è di circa 2 mc/sec.

Ben maggiore è l'effetto di una portata di magra in pianura, che garantisce il mantenimento del livello idrico in cava, e quindi la possibilità di garantire le portate di acqua in cava. Il livello idrico in cava, per garantire le portate di acqua in cava, è di circa 75 m a.s.l. (regionale) per le condizioni sopra descritte nei laghi. Una delle richieste dei

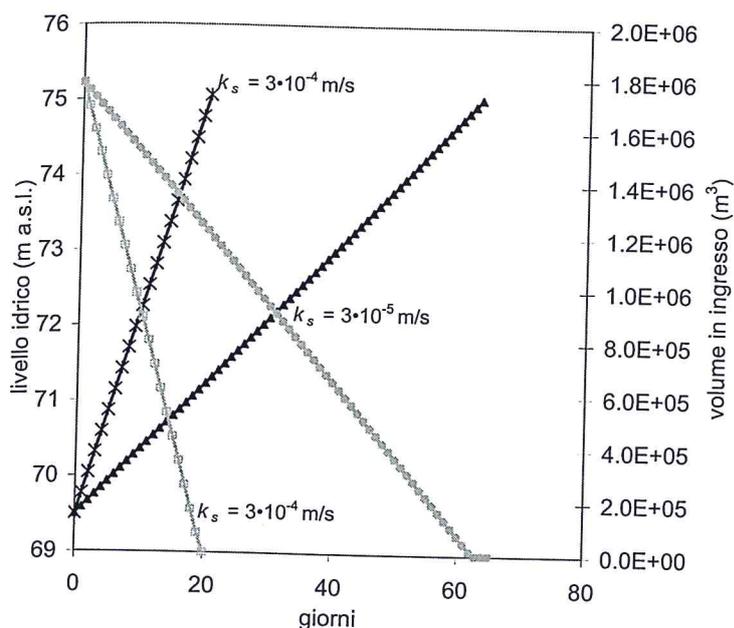


Figura 8. Andamento dei livelli in cava ATEG3 nella fase di riempimento e dei relativi volumi in ingresso. Il numero dei giorni oscilla da 20 a 63 per $K = 3 \cdot 10^{-4}$ e $3 \cdot 10^{-5}$ m/s.

5 CONCLUSIONI

Lo studio evidenzia per il caso in esame la potenzialità dei volumi disponibili nei laghi di cava come bacini d'espansione per la laminazione delle piene e come bacini di riserva idrica nei periodi particolarmente siccitosi.

L'effetto di laminazione delle cave sulle portate di piena, a fronte di un volume invasabile di 1'457'000 m³ relativo allo sviluppo futuro di estensione previsto dal Piano Cave (con circa 2.5 m di battente) induce una laminazione della portata di circa 70 mc/sec sull'idrogramma con portata al colmo di 200 anni di periodo di ritorno. Tale riduzione comporta un aumento del franco di sicurezza nelle sezione dell'abitato di Crema, che nello stato attuale ha franchi di sicurezza minori di 1 metro.

Ben maggiore impatto hanno i volumi idrici disponibili in cava sul sostegno della portata di magra in quanto la disponibilità di tali volumi, che naturalmente occupano le cave di pianura, permette, a fronte di un abbassamento temporaneo di circa 5.5 m del livello idrico in cava, di mantenere in alveo la portata di magra a valori sufficienti a garantire le portate irrigue a valle delle cave (2.26 m³/s) per circa 16 giorni. Lo stesso abbassamento garantisce un mantenimento della portata in alveo pari al Deflusso Minimo Vitale (3.06 m³/s calcolato come proposto nel piano di Tutela delle acque regionale) per circa 12 giorni. Viceversa non è possibile garantire entrambe le condizioni sopra riportate perché il volume necessario è superiore a quello disponibile nei laghi. Una diversa gestione di tale volume idrico è comunque possibile in funzione delle richieste dei diversi portatori di interesse.

Ringraziamenti. Gli Autori ringraziano il Settore Ambiente della Provincia di Cremona, fortemente impegnato nella estensione e gestione dei piani di estrazione, per il finanziamento che ha permesso la redazione del presente lavoro. Il lavoro è parte del progetto "I Laghi di cava come regolatori delle emergenze idriche" finanziato dalla Fondazione Cariplo nell'ambito del bando 2006 "Gestione sostenibile delle acque: promuovere forme di gestione integrata e partecipata delle acque superficiali".

BIBLIOGRAFIA

- Bartolini, P., Bochicchio M., Dongu M., Giunciuglio R., Morten E. Il progetto IDRO: e-government delle risorse idriche in Liguria, <http://www.ordineingegneri.genova.it>, 2004.
- Citrini, D., Noseda, Idraulica, Ambrosiana Milano, 1982.
- CNR-GNDCI - U.O. 1.8 - Rapporto VAPI, Italia Nord-Occidentale: bacino del fiume Po e Liguria Tirrenica, a cura di C. De Michele e R. Rosso, in base agli studi di Daniel Adom, Baldassare Bacchi, Gianfranco Becciu, Armando Brath, Paolo Burlando, Elpidio Caroni, Carlo De Michele, Paolo La Barbera, Marco Mancini e Renzo Rosso della U.O. n.1.8 presso il Politecnico di Milano, 1999.
- Mancini, M. La modellazione distribuita della risposta idrologica: effetti della variabilità spaziale e della scala di rappresentazione del fenomeno dell'assorbimento. PhD Thesis, Politecnico di Milano, Milan, Italy, 1990.
- Montaldo, N., Toninelli, V., Mancini, M. & Rosso, R. Coupling limited area models with distributed hydrologic models for flood forecasting: the Toce basin case study. In: FRIEND 2002 - Regional Hydrology: Bridging the Gap Between Research and Practice (ed. by H. A. J. van Lanen & S. Demuth), 229-236. IAHS Publ. 274. IAHS Press, Wallingford, UK, 2002.
- Montaldo, N., Mancini, M. & Rosso, R. Flood hydrograph attenuation induced by a reservoir system: analysis with a distributed rainfall-runoff model. *Hydrol. Processes* 18(3), 545-563, 2004.
- Montaldo, N., Ravazzani, G. & Mancini, M. On the prediction of the Toce alpine basin floods with distributed hydrologic models. *Hydrol. Processes* 21, 608-621, 2007.
- Provincia di Cremona. Piano di Emergenza Provinciale per il Rischio Idraulico dei Fiumi Adda, Serio e Oglio, Ufficio Protezione Civile.

ABSTRACT

Eutrophication is of water stored produce algal to resource use bas paper improves t in any given mo (2006), consider trophic state of t. The application of different water Sardinia, Italy.

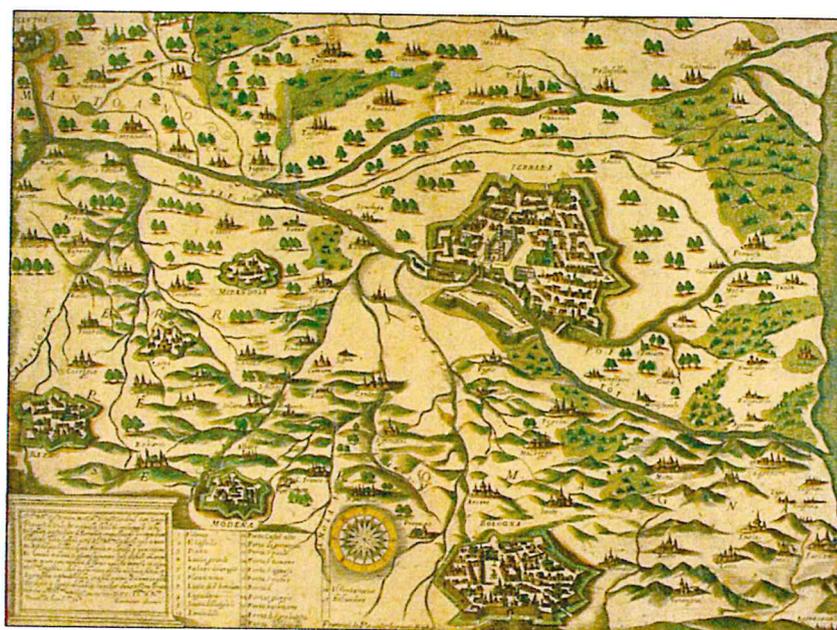
Keywords: water

1 INTRODUCTION

Effective water quantity issues. For the most crucial (1993). Although studied and discussed management models practices is still f

Several authors systems consider et al., 2000; Lou advantageous to range of design simulation mode Therefore, to of technique giving (2006) presented

Il convegno «Approvvigionamento e distribuzione idrica: esperienze, ricerche ed innovazione» è stato organizzato dal CSSA (Centro Studi Sistemi Acquedottistici) e dal LARA (Laboratorio Regionale a rete per le Acque). Esso, concentrandosi sulle tematiche della modellazione e gestione dei sistemi che consentono l'approvvigionamento e la distribuzione di acqua potabile, è stato concepito per creare un'occasione di contatto fra esperti del mondo accademico, del mondo professionale e delle aziende che gestiscono l'acqua. A questi esperti è stata data la possibilità di discutere, presentare, diffondere i più recenti ed innovativi risultati conseguiti sia nella ricerca, sia nelle reali applicazioni pratiche. In questo volume si raccolgono i lavori presentati dai vari relatori raggruppati per tematiche così come sono stati presentati durante lo stesso convegno.



www.morlacchilibri.com | euro 35,00

