

Generalità

La difesa di un'area esposta all'esonazione di un corso d'acqua può attuarsi in due modi:

1. aumentando la capacità di portata dell'alveo;
2. diminuendo la portata di piena che, con determinato tempo di ritorno, transita nel tratto esposto.

Nelle aree fortemente urbanizzate o utilizzate, è difficile riscontrare le condizioni che consentano la possibilità di aumentare la capacità di convogliamento dell'alveo. La soluzione, in questi casi, consiste nella costruzione di opere per la riduzione della portata.

Le portate d'acqua che defluiscono in un fiume possono costituire una risorsa importante, ma al tempo stesso, se eccessive, possono procurare gravi danni. Le opere per lo sfruttamento delle risorse idriche generalmente influiscono sul regime delle portate e possono diventare un importante strumento di regolazione. Allo stesso modo le opere di riduzione delle portate, se opportunamente progettate, possono divenire un'occasione di sfruttamento delle risorse idriche, ad esempio a scopo idroelettrico o irriguo.

Se la distribuzione delle portate nel tempo, è tale che i volumi da regolare sono piccoli rispetto al flusso naturale, la derivazione può comportare modifiche ed interventi limitati. In altri casi invece l'entità dei volumi da regimare a scopo di sfruttamento o di difesa è talmente elevata da richiedere l'inserimento di adeguate capacità che siano in grado di intercettare e modulare secondo le necessità la successione delle portate.

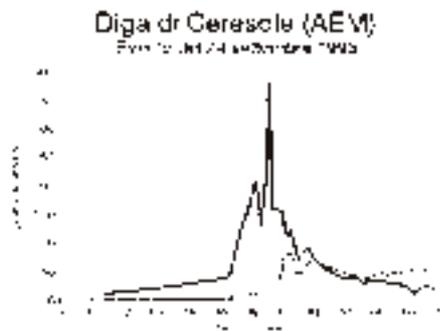
Figura 3.0.1: Costruzione di una cassa di espansione sul fiume Secchia. Si può vedere lo sbarramento ed in primo piano l'arginatura della cassa di espansione con l'imbocco dello scaricatore. Si tratta di opere complesse e di grandi dimensioni che determinano un impatto significativo sul territorio



Date le caratteristiche di un territorio come quello italiano, l'impiego di opere per la riduzione delle portate è particolarmente utile poiché è spesso improponibile intervenire con sistemi che aumentino la portata convogliabile a causa dell'impatto che determinano ed a causa dell'elevata antropizzazione del territorio.

La laminazione di una piena consiste nell'invasare temporaneamente in adatta capacità una parte del volume dell'onda di piena, per restituirla successivamente. In questa maniera l'idrogramma di piena viene modificato opportunamente e la portata al colmo viene resa compatibile con le sezioni di deflusso a valle.

Figura 3.0.2: Andamento delle portate affluite all'invaso della diga di Ceresole (linea continua) e di quelle rilasciate (linea a tratti) a valle della diga nel corso della piena del 24 settembre 1993. Si rileva chiaramente la riduzione di portata a valle della diga, determinata dall'invaso di una quota rilevante delle portate in particolare di quella di picco. La diga in questo caso ha funzionato da serbatoio di piena



La riduzione delle portate può ottenersi con:

- **serbatoi di piena**
- **casce di espansione**
- **diversivi e scolmatori**

Serbatoi di piena, nella parte medio alta dei bacini, e casce di espansione, nella parte medio bassa, sono veri e propri invasi posti sull'asta principale o su un suo affluente. Le due tipologie di opere trovano applicazione in condizioni geologiche e topografiche molto diverse. In particolare nella parte medio bassa dei bacini la morfologia generalmente non offre invasi naturali facilmente sbarrabili per creare la capacità necessaria ed allora si deve creare l'invaso mediante arginature.

Figura 3.0.3: Scolmatore del fiume Adige, posto all'altezza di Mori. Collega, in galleria, il fiume con il lago di Garda e permette di derivare una parte delle portate nel bacino in caso di piene che superino valori ritenuti critici. In questo caso le acque vengono immesse in un cosiddetto "recipiente" e non vengono restituite al corso d'acqua d'origine.



Generalità

L'impiego di serbatoi per l'attenuazione delle piene risale al secolo XVIII in varie regioni francesi. Verso la metà del XVIII secolo, nel bacino della Loira fu costruito un serbatoio che ne sbarrava un affluente; altro esempio noto è quello della diga con scarico aperto di Pinay, sulla Loira, eseguita nel 1711 e successivamente riparata e rialzata. Nel 1849 fu costruito sul torrente Furens uno sbarramento per creare un serbatoio della capacità di circa 200.000 mc che ne immagazzinasse le piene, per evitare l'inondazione della città di Saint Etienne. Il serbatoio in questo caso venne utilizzato anche per approvvigionare la città di acqua potabile. Questi sistemi, a quei tempi, risultavano però di difficile impiego per i costi elevati e per le difficoltà di una gestione che evitasse conseguenze pericolose nei tratti a valle.

Una tipologia particolare di serbatoi di piena ad uso multiplo già usati anticamente sono i laghetti collinari, impiegati in agricoltura, di cui si tratterà in un altro capitolo. I principi che regolano il processo di laminazione delle piene che si applicano ai serbatoi ed alle casse d'espansione sono sostanzialmente gli stessi. Le differenze sussistono invece sotto il profilo tecnico con risvolti importanti di carattere economico e gestionale.

I serbatoi di piena si possono considerare i progenitori delle casse d'espansione anche se in effetti le golene dei grandi fiumi hanno da sempre svolto la funzione di invasare cospicue quantità di acqua in occasione degli eventi di piena.

Figura 3.1.1: Serbatoio di piena di Vinchiana (LU). Vista da valle



Figura 3.1.2: Serbatoio di piena di Vinchiana (LU), foto aerea.



Figura 3.1.3: Serbatoio di piena di Vinchiana (LU). A sinistra, vista dell'uscita della galleria di deviazione del torrente per le normali portate, in alto lo sfioratore di troppo pieno dell'invaso. A destra vista dell'invaso da monte.

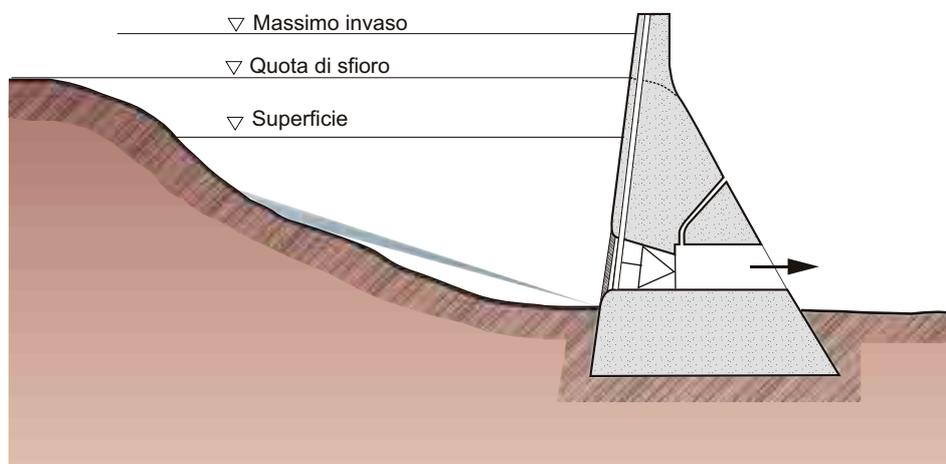
Descrizione e Caratteristiche

Si tratta di opere generalmente molto impegnative sia sotto il profilo tecnico che economico ed in considerazione del fatto che vengono utilizzate completamente con tempi di ritorno lunghi (anche più di 100 anni), sono opere per le quali è conveniente un impiego multiplo oltre alla difesa idraulica (irrigazione, approvvigionamento idrico o produzione di energia).

L'ubicazione di serbatoio di piena va scelta attraverso un compromesso tra diverse esigenze:

1. condizioni geologiche e topografiche atte alla creazione dell'invaso
2. massimizzazione dell'efficacia regolatrice derivante dall'estensione del bacino tributario
3. impatto ambientale
4. impatto socio-economico

Figura 3.1.4: Sezione schematica di un serbatoio di piena. Lo sbarramento è costituito da una diga in calcestruzzo dotata di uno scarico al fondo non presidiato, per la restituzione dell'acqua a valle secondo le esigenze ed in base al valore delle portate di piena.



La progettazione del serbatoio, sotto il profilo idraulico, passa attraverso la definizione dell'idrogramma di piena di progetto: ossia la variazione della portata nel tempo durante la piena. La modulazione della piena secondo le specifiche esigenze si otterrà dalla combinazione di un adeguato volume invasato e di opportuni sistemi di rilascio delle portate. L'invaso si creerà mediante una diga in calcestruzzo od in terra, di altezza adeguata e sarà dotata di una o più scarichi al fondo (luci) per restituire al corso d'acqua le portate fino ai valori massimi tollerabili a valle. Lo sbarramento sarà inoltre dotato di uno scaricatore di superficie per poter garantire il deflusso delle acque qualora per una qualche ragione la capacità dell'invaso venisse esaurita o venisse a mancare la funzionalità dello scarico di fondo.

Lo scarico di fondo dei serbatoi ad esclusivo uso di piena può essere realizzato in due modi:

- scarico presidiato da paratoie: consente di regolare secondo le esigenze la portata restituita;
- luci fisse a scarico libero, meno sofisticate ma più affidabili.

I serbatoi ad uso multiplo dovranno forzatamente essere dotati di scarico di fondo del primo tipo, al fine di consentire lo stoccaggio dell'acqua anche per altre finalità.

Figura 3.1.5: Schemi di scarico di fondo.

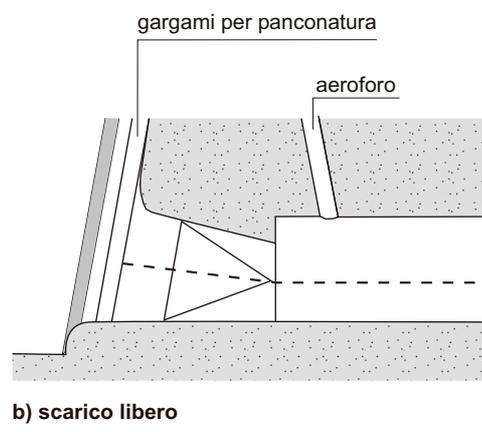
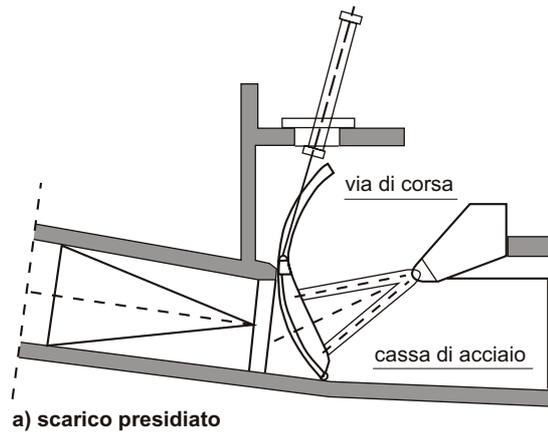


Figura 3.1.6: Vista da monte dello scaricatore di superficie e di fondo della diga del Liscione sul fiume Biferno (Guardialfiera, CB). Si osservino i dispositivi per la dissipazione dell'energia della corrente al fondo dello scivolo.



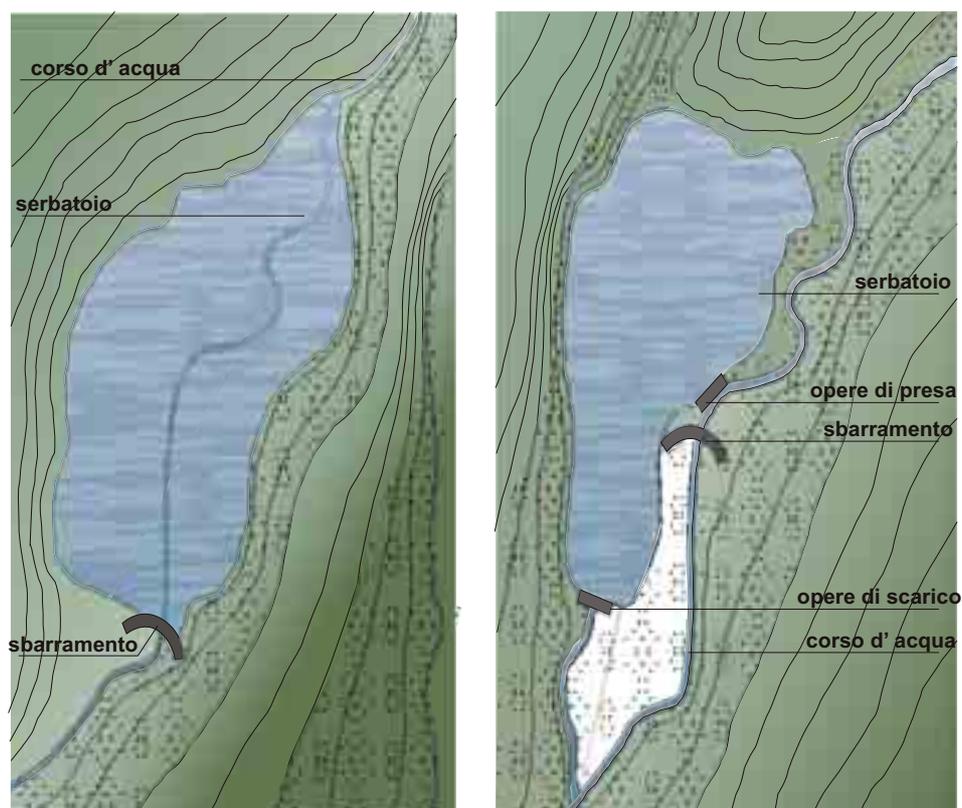
Generalità

Come si è detto, le casse di espansione consentono di gestire un volume d'acqua che di norma è tenuto libero così da ridurre la portata al colmo. Il volume invasato viene restituito quando le condizioni idrometriche del corso d'acqua non siano più pericolose.

La posizione più naturale per questi serbatoi è all'interno dello stesso alveo del fiume, approfittando magari di una configurazione morfologica favorevole, costituita da una strettoia preceduta a monte da un allargamento della valle. Si crea uno sbarramento che determina un rigurgito che consente di riempire l'invaso in occasione di piene ed al tempo stesso è dotato di organi che permettono il deflusso delle acque in condizioni normali.

Una seconda configurazione possibile consiste in un serbatoio posizionato fuori dall'alveo del fiume, accanto ad esso, in una cosiddetta cassa di espansione "in derivazione"; in questa situazione, l'ingresso dell'acqua nel serbatoio è controllato da un'opera di presa e lo scarico avviene attraverso un'opera apposita, che in generale è diversa da quella di presa. In alcuni casi lo scarico delle acque avviene in un corso d'acqua diverso da quello dal quale vengono derivate.

Figura 3.2.1: Le due possibili posizioni di un serbatoio di laminazione, rispetto al corso d'acqua. A sinistra la posizione in linea e a destra quella in derivazione. Per quest'ultima, l'opera di scarico può comunicare anche con un corso d'acqua diverso. (Adami, 1998, rid.)



Tra le due soluzioni generalmente la meno onerosa risulta la prima: vi sono minori costi legati all'occupazione di spazio ed al vincolo idraulico imposto ai terreni; inoltre non è necessario realizzare opere di derivazione e di restituzione molto complesse.

Figura 3.2.2: Cassa di espansione in linea sul fiume Secchia, vista da valle dello sfioratore di piena e delle aperture per il regolare deflusso.



Figura 3.2.3: Cassa espansione torrente Chiani (PG). Vista dello scaricatore di fondo e di superficie



Figura 3.2.4: Cassa espansione torrente Chiani (PG). Vista del manufatto di imbocco



Sotto il profilo dell'impatto ambientale tra serbatoi di piena e casse d'espansione sono da preferirsi queste ultime per il minor impatto che hanno sul territorio e per le oasi che vi si possono creare, specie per le casse a cavallo del corso d'acqua e quindi sovente parzialmente invase dalle acque.

La trattenuta di volumi d'acqua anche modesti consente infatti la creazione di un ambiente umido utilizzabile dall'avifauna; può anche essere consentito lo sviluppo di vegetazione che, almeno nella parte più frequentemente allagata, possa sopravvivere a periodiche sommersioni.

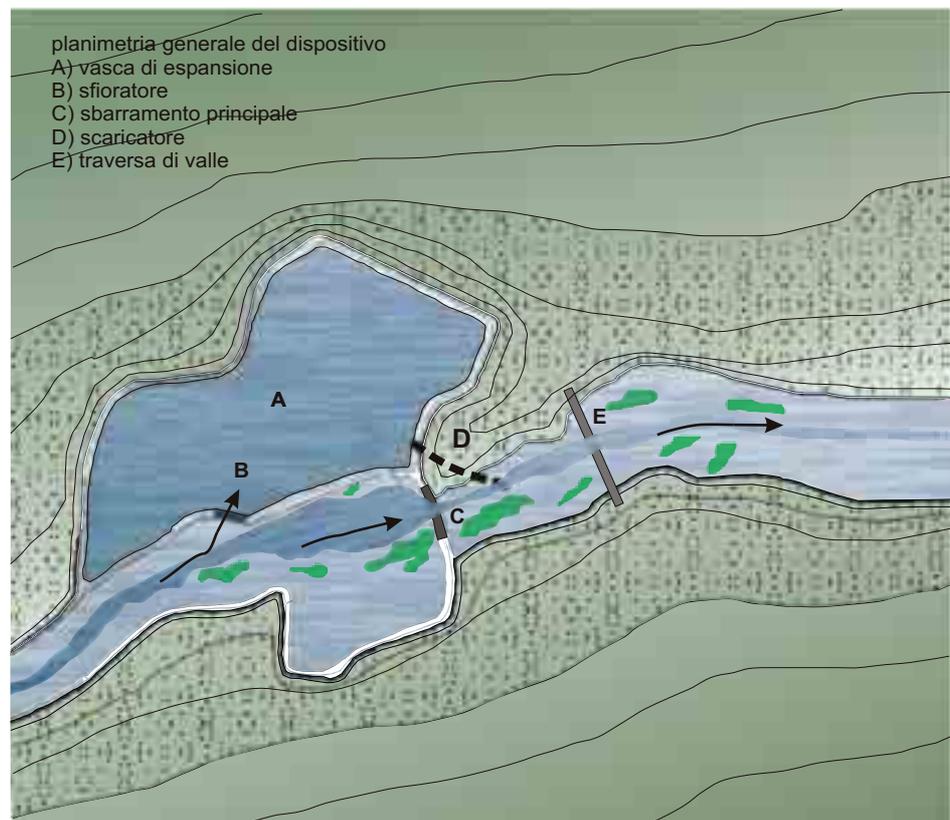
Le casse di espansione oltre alla laminazione delle piene si prestano anche ad altre applicazioni; grazie alla possibilità di rimodulare le portate, sfruttando gli eccessi di acqua dei periodi piovosi, è possibile:

- incrementare le portate irrigue
- incrementare il deflusso minimo
- possono essere rimodulate le portate naturali che siano state sfasate a monte per la presenza di impianti idroelettrici od industriali.
- con alcuni provvedimenti le casse possono favorire, in presenza di condizioni idrogeologiche favorevoli, la ricarica delle falde.

Le acque di piena sono generalmente caratterizzate da un notevole contenuto di materiale in sospensione, il quale, per il rallentamento subito dalla corrente, si deposita sul fondo delle casse di espansione. Questo fenomeno nel tempo può ridurre la capacità d'invaso e influire negativamente sull'alimentazione delle falde acquifere. Per queste ragioni è importante prevedere la manutenzione periodica di queste opere.

Nella valle o a lato di un corso d'acqua aree opportunamente sistemate ed arginate, possono consentire l'invaso temporaneo di volumi d'acqua anche rilevanti in rapporto al volume della piena. Poiché l'altezza utilizzabile per l'invaso è generalmente di pochi metri, la superficie da riservare all'invaso può essere assai estesa. E' quindi necessario che l'area non ospiti insediamenti di importanti e che il valore dei terreni non sia troppo elevato qualora non appartenga al demanio.

Figura 3.2.5: Cassa di espansione in derivazione lungo il Fiume Secchia. Sono indicate tutte le opere che costituiscono il sistema per la derivazione e lo stoccaggio temporaneo delle portate in eccesso. In questo caso il livello dell'acqua viene sostenuto con uno sbarramento per consentire di far funzionare lo sfioratore. A valle inoltre è posta una traversa per controllare eventuali fenomeni erosivi.



Descrizione e Caratteristiche

Casse in linea

Le casse disposte nella valle del corso d'acqua rappresentano la soluzione più semplice: non è necessaria un'opera di imbocco né di derivazione ed è sufficiente un unico manufatto all'uscita. L'opera di sbocco, dotata di sfioratore di superficie, è realizzata con una traversa posta nella sezione di chiusura. Si possono adottare traverse mobili, dotate di paratoie, o fisse caratterizzate dalla presenza di luci di fondo per il deflusso delle portate compatibili con le sezioni a valle.

Un'altra soluzione consiste nel costruire una traversa, moderatamente sporgente, delimitata lateralmente da ali immerse nelle sponde: in tal modo si crea a monte, con un modesto invaso, una zona umida. Anche questa opera sarà munita di scarico per l'esaurimento dell'invaso e per consentire il deflusso verso valle dei sedimenti.

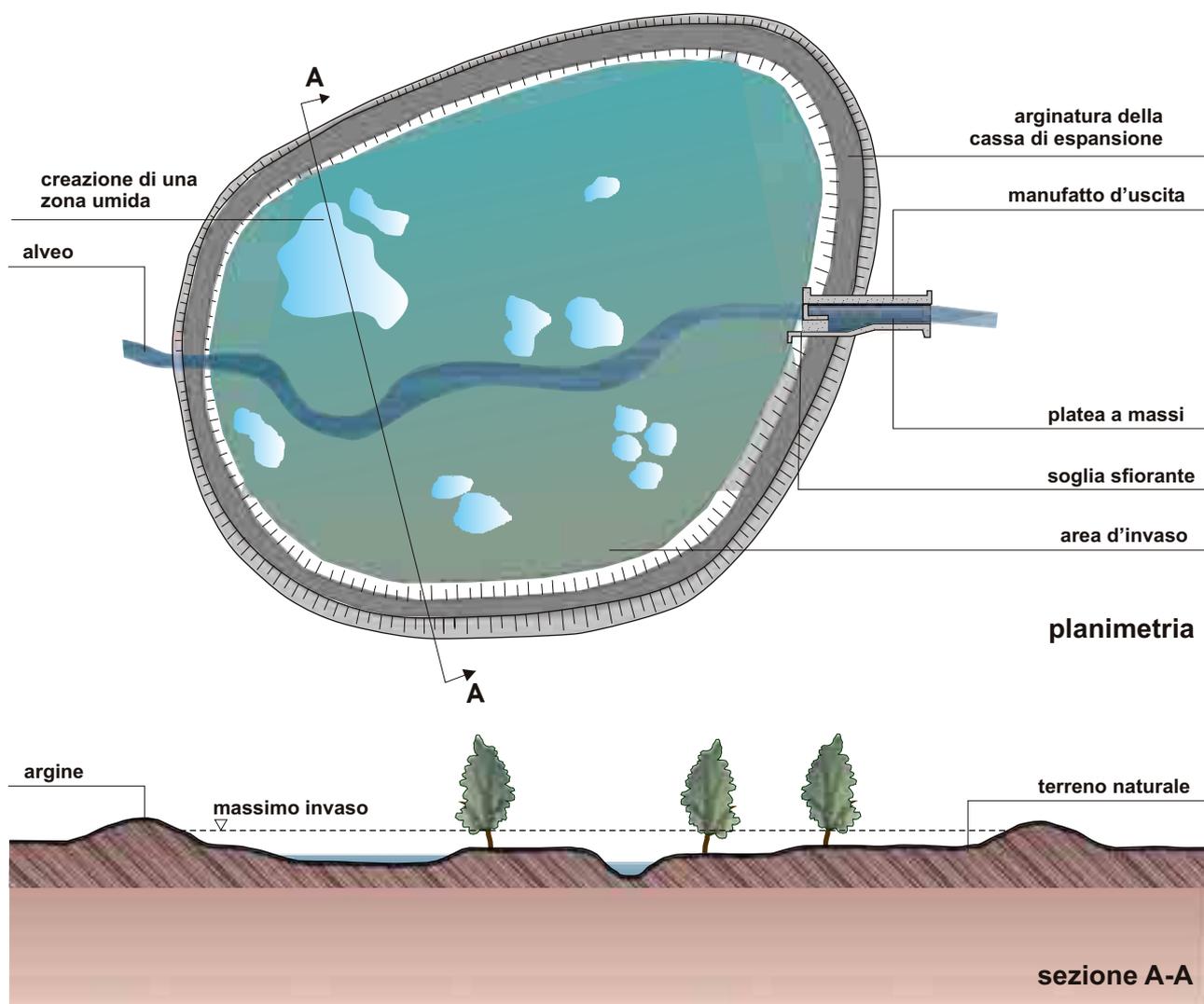


Figura 3.2.6: Cassa di espansione in linea. Un opportuno modellamento della cassa consente di favorire il ristagno dell'acqua creando una zona umida che diventa un'occasione interessante di valorizzazione ambientale di questo dispositivo di moderazione delle piene. La cassa è dotata di un manufatto di uscita dotato di soglia sfiorante che restituisce l'acqua a valle dissipandone l'energia per mezzo di una platea di massi

Per creare l'invaso in cui accogliere l'acqua rigurgitata dalla traversa o dalla soglia, si costruiscono delle arginature in terra, secondo le modalità simili a quelle descritte per gli argini fluviali. A differenza di questi ultimi, le strutture usate nelle casse di espansione benchè siano soggette a condizioni meno gravose per il tempo in cui i serbatoi rimangono invasi vanno comunque protette rispetto a fenomeni erosivi.

Generalmente si ricorre a dei rivestimenti in materiali sciolti o flessibili (materassi e/o gabbioni).

Infine è opportuno instaurare una copertura erbacea stabile per evitare fenomeni di disseccamento che favoriscano l'infiltrazione localizzata ed i fenomeni di sifonamento. A tale scopo si possono utilizzare sistemi di inerbimento per mezzo di idrosemina, geostuoie tridimensionali rinforzate e non e, se necessario, predisporre sistemi di irrigazione. In zone distanti dall'alveo del corso d'acqua, l'aridità può infatti divenire un fattore limitante lo sviluppo della vegetazione.

Figura 3.2.7: Rivestimento con scogliera in blocchi di roccia dell'argine di una cassa di espansione. Il rivestimento è stato consolidato e rinaturalizzato per mezzo dell'inserimento di talee di salice.

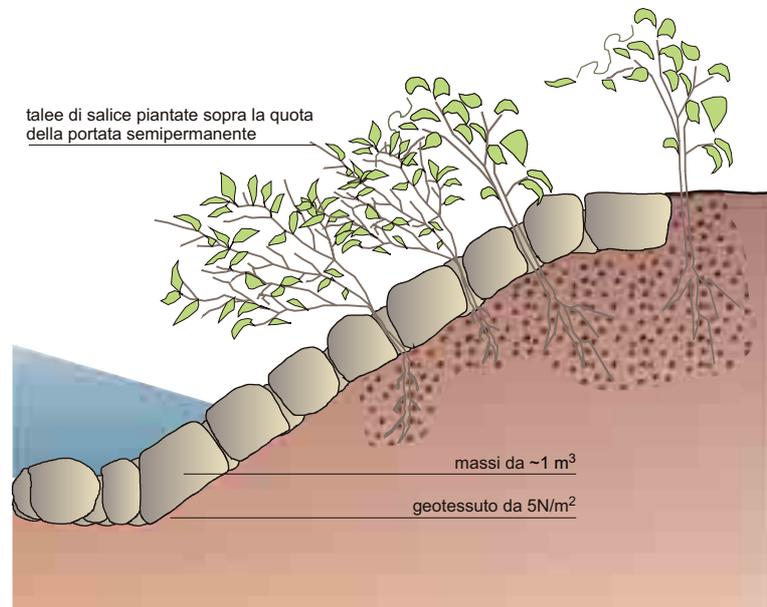


Figura 3.2.8: Veduta aerea di una piccola cassa di espansione in linea che svolge anche la funzione di piazza di deposito. Favorendo il ristagno dell'acqua in alcune porzioni del bacino, l'opera è divenuta anche l'occasione per creare una piccola zona umida. (Rio Inferno, Termeno, BZ)



Descrizione e Caratteristiche

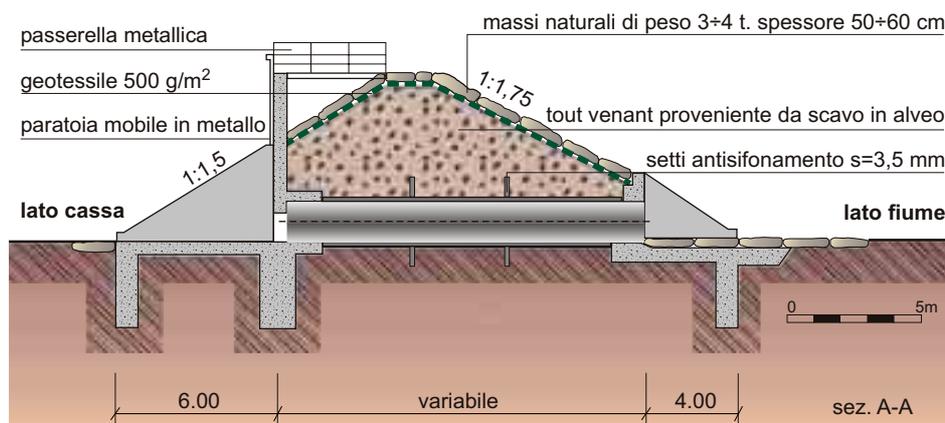
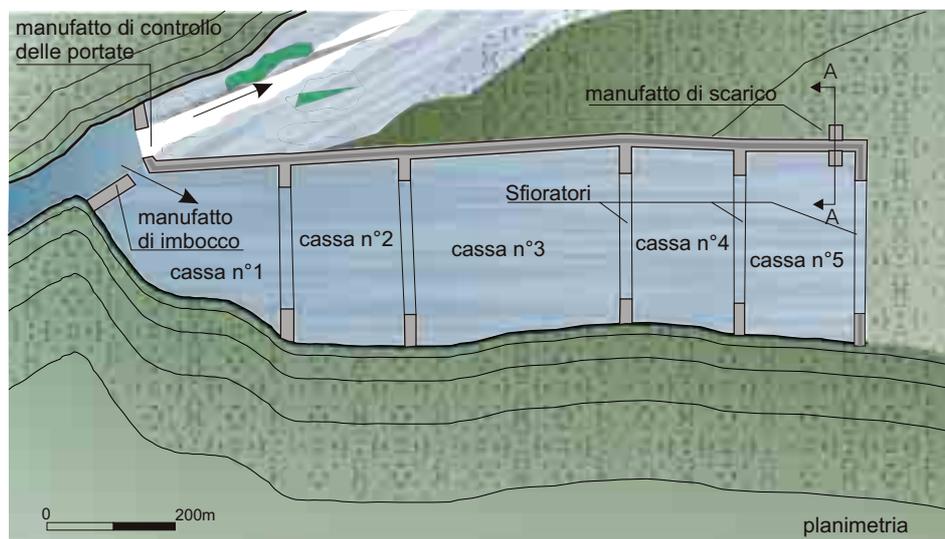
Casse in derivazione

Nelle casse in derivazione, come si è detto, l'invaso viene individuato a lato del corso d'acqua, delimitandolo con degli argini. Allo scopo di derivare nei tronchi a valle la portata eccedente quella tollerabile, si ricorre ad un organo di derivazione fisso, dotato di uno sfioratore opportunamente protetto. E' molto importante posizionare l'opera di imbocco alla quota corretta, in relazione agli eventi di piena, per garantire la piena efficacia dell'opera di difesa.

Questo tipo di casse di espansione spesso sono caratterizzate da tiranti idrici piuttosto bassi e se il terreno è in pendenza può essere conveniente utilizzare più vasche poste in serie. In questi casi tra vasca e vasca è prevista una luce di fondo e una soglia sfiorante. La luce di fondo ha la duplice funzione di permettere lo svuotamento della vasca a monte durante la fase calante dell'onda di piena e quella di preparare la vasca di valle, parzialmente invasata quando inizia lo sfioro, per facilitare la dissipazione dell'energia della portata sfiorante.

Con questo sistema si riesce anche a differenziare il rischio di allagamento nelle varie zone: in aree sfruttate con coltivazioni ad esempio può essere importante poter concentrare la maggior frequenza di allagamento in zone poco pregiate

Figura 3.2.9: Cassa di espansione in derivazione suddivisa in vasche poste in serie separate da soglie sfioranti. Il condotto di scarico, visibile in sezione, è posto nell'ultima vasca e consente di restituire le acque al fiume nei tempi desiderati grazie all'impiego di una paratoia. Il punto in cui avviene lo scarico deve essere sempre adeguatamente protetto dall'erosione; in questo caso, come di frequente avviene, si sono impiegati massi di rivestimento con adeguate dimensioni. (Da Deppo, 1998, rid.)



L'alimentazione delle casse in derivazione può effettuarsi con uno sfioratore eventualmente dotato di organi mobili.

Il convogliamento delle acque di piena in eccesso verso l'invaso si può agevolare ricorrendo ad un'opera, posta un pò più a valle rispetto alla derivazione, in grado di sostenere il livello dell'acqua. A tale scopo spesso si utilizza una traversa a soglia fissa con luci di fondo dimensionate per la massima portata tollerata a valle.

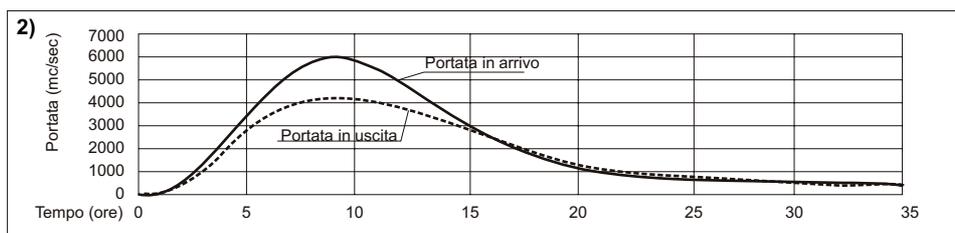
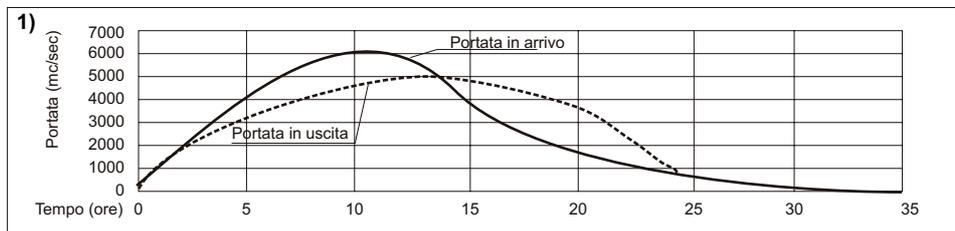
La cassa di espansione restituirà al fiume il volume invasato mediante uno scarico di fondo presidiato da una paratoia azionata quando nel corso d'acqua la portata scende sotto il valore critico. Nel caso la capacità d'invaso della cassa si esaurisse, entra in funzione uno scarico superficiale a soglia fissa o in parte presidiato da paratoie automatiche. Nel caso di più vasche in serie, lo schema sopra descritto si ripete per ogni cassa.

Figura 3.2.10: Sfiatore sull'argine sinistro del Secchia. Quando il livello del fiume raggiunge la soglia, una parte della portata si scarica nella cassa di espansione sulla sinistra della foto.



Figura 3.2.11:

1) La variazione della forma di un'onda di piena per effetto di un serbatoio di laminazione in linea.
2) La variazione della forma di un'onda di piena per effetto di un serbatoio in derivazione controllato da uno sfioratore.

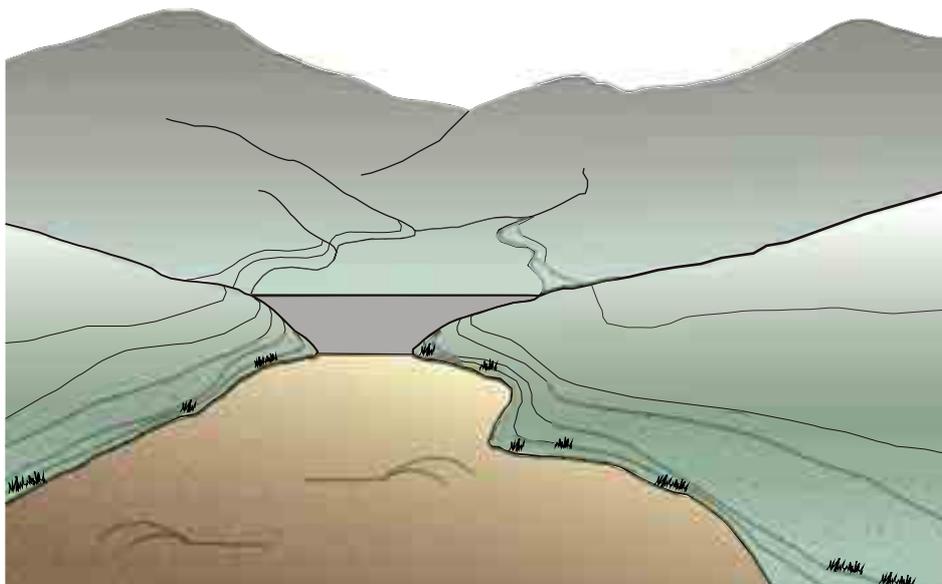


Generalità

I laghetti collinari, come indicato in precedenza, possono essere considerati un tipo particolare di serbatoi di piena ad uso multiplo. Questo tipo di opere sfrutta la morfologia collinare all'interno della quale sono individuati molteplici sistemi di bacini imbriferi: un impluvio sbarrato da una piccola diga (una diga in terra, come vedremo) trasforma parte di un letto torrentizio in un laghetto artificiale, il quale può avere, a seconda dei casi le capacità d'invaso più varie.

«E' molto antico il tentativo di raccogliere una riserva d'acqua in un bacino artificialmente costituito, per utilizzarla a scopo irriguo o domestico nei periodi siccitosi. Sono stati trovati in Libia sbarramenti di pietrame che si fanno risalire all'epoca romana o preromana. Del resto, l'Italia Meridionale ancor oggi presenta i ruderi, oltre che dei maestosi acquedotti romani, di grandi serbatoi e sbarramenti per la raccolta delle acque: basta ricordare i resti di sbarramenti nella piana di Paestum, in Campania, che erano destinati alla raccolta delle acque delle sorgenti di Capodifiume. In Piemonte, nel secolo scorso (1835), veniva costruito uno sbarramento per formare un serbatoio idrico capace di servire un comprensorio di 300 ettari, nella zona di Pralormo. Tra la fine del secolo XIX e l'inizio del XX, nelle province di Piacenza e di Modena, venivano realizzati numerosi invasi artificiali a scopo irriguo. Nel 1887, nel comune di Gazzola (Piacenza) nel podere di Ca' Soprana, vediamo costruito il primo "serbatoio a corona" d'Italia. La prima pubblicazione di carattere divulgativo sull'argomento è un opuscolo sui "serbatoi a corona", pubblicato appunto a Piacenza nel 1907 ad opera della Federazione Italiana dei Consorzi Agrari. Ma la diffusa realizzazione dei laghetti artificiali per la raccolta di acque, da impiegare a scopo irriguo, si è verificata soltanto nel periodo successivo alla seconda guerra mondiale, quando l'industria poté mettere a disposizione mezzi meccanici potenti, capaci di costruire in modo economico le dighe in terra battuta».

Figura 3.3.1: Schema di laghetto collinare.



Questo tipo di opere trova i luoghi di applicazione ideali in ambiente appenninico. In queste zone la morfologia offre innumerevoli possibilità di collocazione degli invasi e presenta le condizioni idrogeologiche ideali in quanto generalmente i terreni che costituiscono i rilievi sono caratterizzati da permeabilità molto basse.

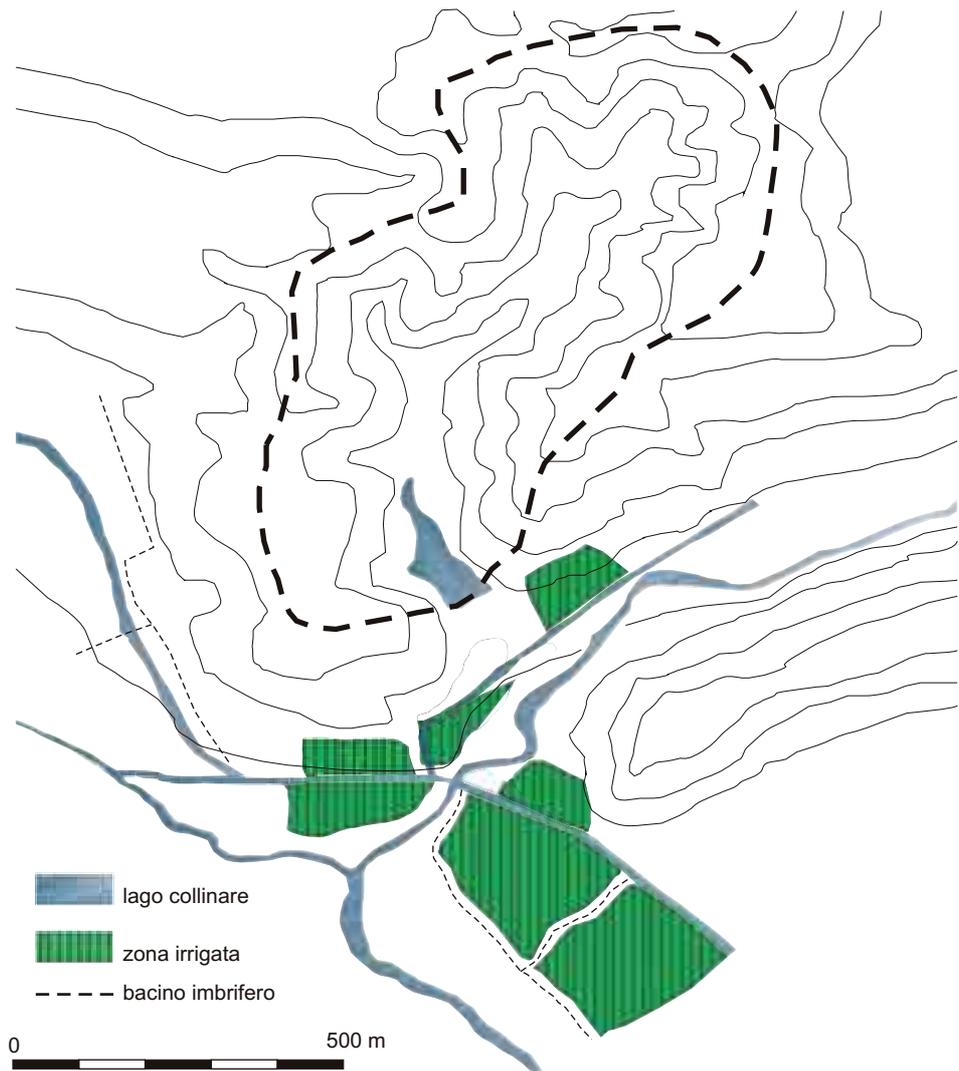
L'invaso naturale viene sbarrato con una diga in terra compattata dotata di un'opera di sfioro a soglia fissa, che smaltisce i volumi d'acqua eccedenti la capacità d'invaso per evitare che la tracimazione dell'acqua al di là della cresta possa causare l'erosione e la distruzione dell'opera. La diga è poi dotata, naturalmente, di un'opera di presa, che preleva l'acqua dal bacino per gli ulteriori utilizzi che se ne possono fare.

Poiché le zone collinari sono spesso caratterizzate da diffusi fenomeni di instabilità a causa delle caratteristiche geotecniche dei terreni, è necessario uno studio geologico e geomorfologico attento dell'area destinata ad accogliere l'invaso. Inoltre si deve possibilmente individuare una zona caratterizzata da una strozzatura dove posizionare lo sbarramento, così da rendere più economico possibile il rapporto terra/acqua, e cioè il rapporto tra il volume della diga e la capacità d'invaso.

Nel caso di uso irriguo inoltre la zona d'invaso deve essere poi ubicata in situazione prevalente rispetto al terreno che dovrà essere irrigato, onde evitare o limitare il pompaggio che renderebbe costosa la gestione della irrigazione.

Infine in ambiente appenninico è importante che la superficie del bacino imbrifero sia ricoperta di vegetazione in modo da ridurre al massimo l'erosione e la franosità anche al fine di contenere i trasporti solidi operati dalle acque, che porterebbero rapidamente ad un interrimento del lago.

Figura 3.3.2: Lo schema mostra il posizionamento di un bacino collinare nell'ambito di un bacino imbrifero. Il bacino è a scopo irriguo e viene indicata la zona irrigata a valle del laghetto. Sistemi di questi piccoli bacini, opportunamente posizionati, possono essere utili nella laminazione delle piene. Rispetto ad altre soluzioni hanno un basso impatto sul territorio e costi di costruzione e gestione più contenuti. In ambiente appenninico inoltre, data l'instabilità dei versanti e le scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni possono rappresentare l'unica alternativa a serbatoi di maggiori dimensioni.



Generalità

I diversivi e gli scolmatori sono manufatti che sottraggono una parte della portata di piena ad un corso d'acqua avviandola verso un altro recipiente o restituendola più a valle nel medesimo corso d'acqua.

I termini diversivo e scolmatore generalmente vengono usati indifferentemente anche se a volte vengono fatte delle distinzioni secondo criteri non però condivisi da tutti.

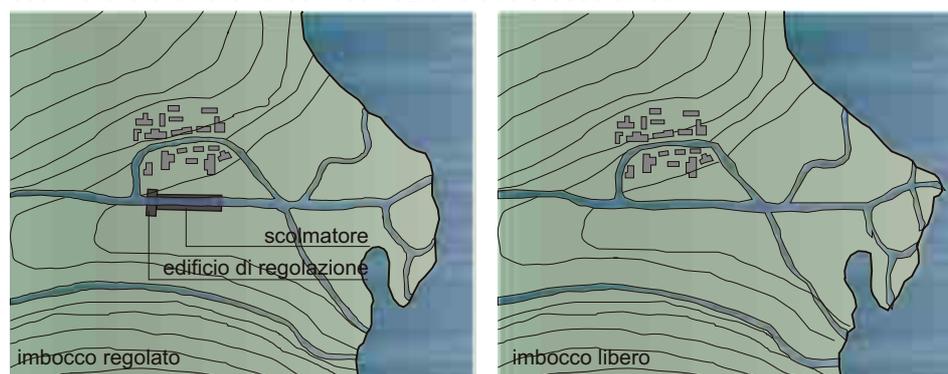
I canali scolmatori vengono più frequentemente usati nelle parti medio-basse del bacino e sono opere tecnicamente meno impegnative delle casse di espansione. A differenza di queste ultime, le modifiche sul regime delle portate possono però provocare problemi di sovralluvionamento a valle della derivazione a causa della diminuzione della velocità dell'acqua con conseguenti rischi di esondazione nelle aree che si devono proteggere.

scolmatore o diversivo con scarico in un recipiente

Figura 3.4.1: Nella figura sono riportati gli schemi possibili per gli scolmatori.



scolmatore o diversivo con restituzione allo stesso alveo



Descrizione e Caratteristiche

Gli scolmatori hanno generalmente all'imbocco una soglia fissa, talvolta regolata con paratoie. La soglia fissa assicura la massima affidabilità di funzionamento ma quella presidiata permette una migliore regolazione della ripartizione delle portate. E' interessante notare come l'utilizzo di uno scolmatore con l'imbocco regolato consenta di regolare piene con portata anche maggiore rispetto alla somma di quella derivabile e di quella massima tollerata a valle.

Se lo scolmatore viene attivato con un congruo anticipo rispetto al passaggio dell'onda di piena è infatti possibile tenere a disposizione a valle, tra la derivazione e la sezione più critica, un volume d'invaso che comincerà ad essere occupato solo quando lo scolmatore non sarà più in grado di incrementare la propria portata derivata.



Figura 3.4.2: Opera di presa dello scolmatore sull'Arno a Pontedera, due giorni dopo l'evento alluvionale dell'8 Ottobre 1993.



Figura 3.4.3: Foto aerea dello scolmatore sull'Arno a Pontedera.