

CAPITOLO 12

SCHEMA RIASSUNTIVO DELLE FASI PROGETTUALI DELLE CASSE DI ESPANSIONE

1. Premessa – Rischio residuo

Nel presente paragrafo vengono presentate in forma riassuntiva le indicazioni illustrate nei precedenti capitoli in ordine a criteri, metodi e tecniche da adottare nella progettazione delle casse di espansione previste nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) elaborato dalla Autorità di Bacino dell'Arno.

Non vengono qui trattate questioni di carattere generali, quali quelle attinenti la ricerca della localizzazione ottimale delle casse sull'asta principale dell'Arno e sugli affluenti e i criteri di scelta delle probabilità di accadimento degli eventi idrologici di riferimento ai fini del dimensionamento delle opere nel loro complesso in quanto aspetti già definiti nel P.A.I.

Riguardo a quest'ultimo punto si deve tuttavia far rilevare che sebbene il P.A.I. fissi il rischio idraulico di riferimento in duecento anni del tempo di ritorno, pur tuttavia può essere necessario limitare le portate al colmo anche con riferimento a eventi di frequenza più elevata che, pure, potrebbero non comportare esondazione. Citiamo, a titolo di esempio, la necessità di limitare la ricorrenza dello scolo intermittente dei comprensori di bonifica oppure quella di evitare che altre aree di laminazione più a valle, per le quali è previsto un qualche uso sportivo o ricreativo, vengano impegnate troppo spesso dalle acque di piena. All'obiettivo del controllo di eventi duecentennale se ne possono dunque aggiungere altri caratterizzati da tempi di ritorno inferiori, dell'ordine di dieci, venti o più anni.

Infine non viene preso in considerazione l'importante problema dell'influenza che sui fenomeni di piena del reticolo idrografico del bacino dell'Arno può esercitare il complesso delle casse così come previsto dal P.A.I., in rapporto sia alle modalità con cui gli eventi meteorici che tali fenomeni determinano si presentano distribuiti nel tempo e nello spazio, sia alla localizzazione e alle caratteristiche idrauliche delle casse.

Tali aspetti sono infatti condizionati dai modi e dalla progressione con cui tali opere verranno realizzate in futuro, che allo stato attuale non sono conosciuti.

In definitiva queste note riassuntive si limitano a considerare i diversi aspetti progettuali della casse, pensate ciascuna funzionante autonomamente dalle altre.

2. La scelta della tipologia della cassa

Nei paragrafi precedenti si sono illustrate le diverse tipologie delle casse di espansione. Qui ci limitiamo a ricordare che esse si distinguono nelle due categorie in linea e in derivazione. Le prime, a parità di volume, presentano rendimenti in generale più bassi delle seconde, in ispecie per gli eventi più critici. Il loro funzionamento è tuttavia semplice, affidabile e presenta buoni indici di efficienza su un vasto spettro di eventi di piena. Anche i costi specifici (per unità di volume) delle casse in linea risultano sovente più bassi rispetto a quelli dell'altra categoria di opere per la duplice circostanza di richiedere la costruzione di limitate arginature sul lato fiume e di sfruttare efficacemente il volume derivante dal rigurgito determinato dall'opera di sbarramento situata a valle.

D'altra parte l'area in cui è situata la cassa viene interessata dalle acque di piena anche in occasione di eventi frequenti.

Le casse in derivazione sfruttano invece il loro volume soltanto quando la portata in alveo induce livelli tali da impegnare la soglia dell'opera di alimentazione. L'area interna alla cassa viene di conseguenza assai raramente interessata dalle inondazioni. Una strutturazione di tali casse in più settori, peraltro, può segmentare ulteriormente l'impegno del territorio consentendo di inondare le aree più pregiate durante gli eventi più severi e le altre più frequentemente.

In sede di progetto preliminare occorre valutare attentamente l'estensione longitudinale di un eventuale sfioratore laterale sulla base dei carichi disponibili in alveo. Assai spesso, al fine di migliorare il funzionamento dell'opera, si può pensare alla realizzazione di traverse, le quali, stabilizzando l'alveo, consentono anche di meglio definire la scala delle portate dello sfioratore. A questo stesso fine potrebbe essere necessario prevedere l'esecuzione di interventi di sistemazione e regolarizzazione dell'alveo, avendo anche cura di effettuare una indagine della sensibilità dei livelli idrici alle diverse condizioni di manutenzione.

Il progetto delle opere deve essere corredato da un rilievo topografico di dettaglio dell'area della cassa e dei tronchi fluviali di interesse.

La scelta della tipologia della cassa assieme ai suoi manufatti accessori deve essere condotta considerando più soluzioni progettuali sulla base dei criteri esposti al capitolo 1.

3. Dimensionamento del volume della cassa

Il dimensionamento di massima del volume della cassa viene effettuato con i metodi indicati nel capitolo 1 paragrafo 3.1, procedendo nel modo seguente:

- a) si ricerca il valore Q_v della portata massima che il tratto più critico dei corsi d'acqua del reticolo idrografico di valle direttamente interessato dalla cassa è in grado di contenere nel suo alveo.

Tale portata viene determinata attraverso il calcolo dei profili di corrente in condizioni di moto permanente utilizzando i metodi esposti nel capitolo 3 paragrafo 5.

Tramite tali profili è possibile individuare nel tratto o nei tratti critici il valore della portata Q_v che con assegnato franco può defluire in essi.

I calcoli devono essere effettuati considerando anche la possibilità di interventi di ricalibratura o di sollevamento dalla sommità arginale.

Se detti tronchi sono sufficientemente lunghi e omogenei con riguardo alle dimensioni della sezione trasversale, alla pendenza e alle caratteristiche di scabrezza e non sono interessati né da opere trasversali né da rigurgiti apprezzabili da valle o da monte, per semplicità di calcolo si può fare riferimento a condizioni di moto uniforme, adottando in particolare la formula di Chezy:

$$Q = \chi A \sqrt{Ri} \quad (1)$$

con $\chi = KR^{\frac{1}{6}}$, adottando per il coefficiente di Gauckler e Strickler K i valori indicati nella tabella 1 del capitolo 3 paragrafo 3.

- b) Si stimano il valore massimo annuale della portata istantanea avente tempo di ritorno di 200 anni $Q_c(200)$ e il valore massimo annuale della portata media giornaliera avente anch'essa tempo di ritorno di 200 anni $Q_m(200)$.

Per la stima di $Q_c(200)$ possono essere utilizzati il modello Alto (capitolo 2 paragrafo 3.11) o il modello M.G (Capitolo 2 paragrafi 1.2 e 1.3). La stima di $Q_m(200)$ viene effettuata con la metodologia esposta nel capitolo 2 paragrafi 1.2 e 1.4.

- c) Si calcola il coefficiente di punta:

$$C_p = \frac{Q_c(200)}{Q_m(200)} \quad (2)$$

e tramite la (14) del Capitolo 1 del paragrafo 3.1 si calcola il valore W^* del volume della parte dell'onda di piena che si sviluppa al di sopra del valore critico della portata Q_v defluente a valle.

Il volume della cassa viene calcolato tramite le formule (16) e (18) o (18') del Capitolo 1 paragrafo 3.1 a seconda che la cassa sia in linea o in derivazione.

Nel caso di cassa in linea, il calcolo del volume W può essere effettuato anche con la formula (7) del Capitolo 1 paragrafo 3.1.

4. Verifica idraulica della cassa

4.1 Scelta dell'onda di piena di riferimento

La verifica idraulica della cassa necessita della conoscenza delle onde di piena di riferimento alla quale possono essere associati i valori desiderati del tempo di ritorno: 500, 200, 100, 50, 20 anni. Come si è riferito nel capitolo 1, a rigore non ha senso parlare di probabilità di accadimento di una serie temporale, quale è appunto un'onda di piena. In effetti il tempo di ritorno può essere associato solo a qualche elemento caratteristico dell'onda di piena (portata di colmo, volume della parte di onda che si sviluppa al di sopra di preassegnati valori di portata di soglia, etc.) e non all'onda così come si presenta nel suo complesso.

Per superare questo empasse uno dei criteri da adottare è quello di attribuire ad un'onda di piena, ottenuta sinteticamente tramite modellazione matematica, la stessa probabilità associabile alla altezza di pioggia – supposta di intensità costante nel tempo e nello spazio – che l'ha generata. Questo criterio viene generalmente adottato allorché non esistono osservazioni di fenomeni di piena di numerosità sufficientemente estesa nella zona interessata dalla cassa o in prossimità di essa così da poter effettuare un adeguata analisi statistica su tali fenomeni. In questi casi - i più frequenti in pratica - per la stima delle onde di piena, si utilizzano modelli di trasformazione afflussi-deflussi per generare più onde di piena corrispondenti ad altezze di precipitazione aventi tutte lo stesso tempo di ritorno T (ad esempio $T = 200$, che è il tempo di ritorno di dimensionamento, 100, 50, 20 e 500 anni) ma durata differente compresa in un campo di valori che va da τ_c a $2+3$

τ_c , essendo τ_c il tempo critico del bacino calcolabile nei vari modi proposti in letteratura. Nel caso dei bacini dell'Arno potrebbe adottarsi una delle formule riportate al capitolo 2 paragrafo 3.9.

Le onde che così si ottengono, in quanto determinate da precipitazioni aventi tutte lo stesso valore di T con differente durata presentano differenti valori della portata di colmo (in generale tanto più piccola quanto più grande è la durata dell'evento piovoso considerato) e del volume (tanto più grande quanto più grande è la durata dell'evento considerato). L'opportunità di utilizzare più onde di piena (a cui viene convenzionalmente associato lo stesso valore di T) deriva dalla necessità di individuare a pari T (sempre in senso convenzionale) l'evento più pericoloso, da assumere quindi come evento di progetto.

Nel caso dell'Arno e dei suoi affluenti si possono applicare, valutandone criticamente a posteriori i risultati, sia il modello Alto (Capitolo 2 paragrafo 3.11) sia il modello geomorfoclimatico (Capitolo 2 paragrafo 3.10).

Per valutazioni speditive, infine, si può applicare il modello dell'invaso descritto nel capitolo 2 paragrafi 3.6 e 3.9.

Gli ultimi due modelli richiedono la stima della curva di possibilità pluviometrica relativa al valore di T prefissato.

Questa stima viene effettuata direttamente con i metodi indicati nel capitolo 2 paragrafo 2.5 se nel bacino di interesse esistono stazioni pluviografiche; in mancanza di esse con il modello di regionalizzazione indicato nel capitolo 2 paragrafi 2.3, 2.4 e 2.5.

Nel caso, invero molto raro, che sia disponibile un numero non piccolo di onde di piena nella sezione di interesse si può procedere in due differenti modi:

- a) non si fa più riferimento, come per il caso precedentemente esaminato ad una o più onde di piena a cui è possibile attribuire in qualche modo lo stesso valore del tempo di ritorno ($T=200$ anni), ma si simula il funzionamento della cassa al presentarsi di tutte le onde sperimentali osservate.

Per ciascuna di tali onde, con le quali è stata effettuata la simulazione, si determina la portata massima Q'_{max} in uscita dalla cassa; si ricava in tale modo una serie di valori di tale variabile, della quale può essere effettuata l'analisi della frequenza per ricavare il valore di $Q_{max}(T)$ da associare al tempo di ritorno prefissato.

- b) Si ricava dall'analisi delle onde di piena disponibili un'onda di piena "virtuale" a cui risulta possibile, sulla base di considerazioni che portano in conto i vari caratteri morfologici dell'onda definibili e definiti statisticamente, associare il tempo di ritorno prestabilito.

Dei due procedimenti brevemente descritti, il primo è quello generalmente utilizzato, in quanto i criteri su cui si basa la costruzione di un'onda virtuale associabile a un valore di T predefinito manca ancora di una base teorica sufficientemente definita e credibile.

5. Simulazione del funzionamento idraulico delle casse

Una volta dimensionate le casse con le procedure indicate nel capitolo 1 occorre verificarne il funzionamento idraulico attraverso simulazioni matematiche da effettuare con i modelli descritti nel capitolo 1 paragrafo 3.2.

Se le casse hanno dimensione longitudinale L modesta e modeste sono anche le pendenze medie i dell'alveo e del territorio in cui esse sorgono di modo che il dislivello iL esistente tra le sezioni iniziale e finale della cassa è piccolo rispetto all'altezza media della stessa, è possibile fare ricorso a modelli così detti statici che si basano sulla soluzione numerica dell'equazione di continuità scritta nella forma dei serbatoi:

$$\frac{dW}{dt} = Q_{e(t)} - Q_{u(t)} \quad (3)$$

in cui i simboli hanno il significato più volte specificato.

Le equazioni derivanti dalla discretizzazione della precedente e la procedura di calcolo numerico da utilizzare sono dettagliatamente illustrate nel capitolo 1 paragrafo 3.2.

Se le condizioni prima indicate non sono verificate – il che avviene abbastanza raramente – occorre ricorrere a modelli dinamici (in genere sono sufficienti quelli monodimensionali) basati su schemi numerici di soluzione delle equazioni di D.S.V.

Alcuni di tali modelli sono indicati nel capitolo 3 paragrafi 1 e 2. Di essi esistono in commercio numerosi codici di calcolo.

La simulazione deve essere effettuata utilizzando come condizione al contorno di monte, nel caso delle casse in linea, le onde di piena definite come detto nel precedente paragrafo.

Nel caso di casse in derivazione, la condizione al contorno di monte deve essere ricavata in base all'andamento dei livelli dell'onda di piena che percorre il fiume e tramite la scala delle portate dell'opera di sfioro che collega il fiume alla cassa; noti questi elementi si ricava l'andamento nel tempo delle portate in ingresso alla vasca, nonché le portate che proseguono nell'alveo a valle dell'opera di sfioro. Per questi calcoli si utilizzano i metodi illustrati nel capitolo 6 paragrafo 3 schemi di calcolo #12.

La condizione al contorno di valle è data dalla scala delle portate del manufatto di scarico che, nel caso delle casse in linea, è l'opera di sfioro situata sul ciglio nella traversa che delimita a valle la cassa e in quella in derivazione il manufatto di scarico della cassa.

Per le casse in derivazione la simulazione dell'onda di piena con tempo di ritorno T pari a 500 anni permette il dimensionamento dello sfioratore di sicurezza che ha il compito di impedire la tracimazione degli argini.

Per le casse in linea la simulazione della piena cinquecentennale consente sia la verifica degli argini alla tracimazione sia la verifica del comportamento dell'opera trasversale.

6. Arginature

Le arginature devono essere dimensionate seguendo criteri progettuali e le norme illustrate nel capitolo 5.

Le verifiche da effettuare sono sostanzialmente quelle al sifonamento e di stabilità nelle tre situazioni che potremmo definire classiche: a fine costruzione, cioè in assenza d'acqua da ambo i lati dell'arginatura; a cassa (o alveo) piena col pelo libero al massimo livello; a rapido svuotamento della cassa e dell'alveo. I risultati di queste verifiche devono fornire per il coefficiente di sicurezza i valori indicati nel capitolo richiamato, paragrafo 5.

Il franco di coronamento deve essere per l'onda di piena di dimensionamento dell'opera (T=200 anni) pari a 1,00 m sull'asta principale e 0,8 sugli affluenti; esso va valutato senza tener conto, come invece viene fatto per le dighe, dell'onda generata dal vento.

Per ragioni di carattere estetico, al paramento lato campagna dell'argine deve esser assegnata una pendenza quanto più dolce possibile.

Nella verifica dell'onda di piena cinquecentennale l'argine deve mantenere un franco residuo.

7. Criteri generali di progettazione delle opere costituenti la cassa

Rimandando per i dettagli ai capitoli 4, 5, 6, 7, 8 che trattano i criteri di progettazione delle opere e dei manufatti necessari alla realizzazione delle casse di espansione e in particolare al capitolo 8 dove si sono trattati con dovizia di particolari gli aspetti ambientali della progettazione, qui ci limitiamo a richiamare la definizione delle fasi definitiva ed esecutiva del progetto così come previste nella deliberazione n. 155/97 del Consiglio Regionale della Toscana *Direttive concernenti criteri progettuali per l'attuazione degli interventi di competenza regionale (opere pubbliche) in materia di difesa del suolo nel territorio della Regione Toscana*. In particolare, al comma 4, si prescrive, quale aspetto vincolante per la progettazione, “.....la conservazione delle caratteristiche di naturalità dell'alveo fluviale, degli ecosistemi e delle fasce verdi ripariali.....”. Si ricorda come “.....le associazioni vegetali ripariali [.....] possono essere considerate come la più naturale delle difese idrauliche efficaci per la limitazione dell'erosione”. Si indica poi che le devevegetazioni spinte vadano evitate e che si debba procedere invece attraverso tagli selettivi e diradamenti mirati, mantenendo associazioni giovanili con massima tendenza alla flessibilità ed alla resistenza alle sollecitazioni della corrente. In particolare per l'area della cassa, mutuando la normativa per le aree di espansione naturali, si raccomanda la conservazione o la ricostruzione della copertura vegetale, privilegiando le forme di bosco igrofilo maturo, al fine di mantenere o ricostruire ecosistemi vicini alla naturalità.

Le opere trasversali, quali briglie o traverse, come più sopra accennato, dovranno garantire la continuità morfologica dell'alveo e si dovrà prevedere la realizzazione di una o più rampe in pietrame per la risalita della fauna ittica. Qualora questo, per via della pendenza locale, non sia possibile, occorrerà provvedere, quando l'opera sia ubicata in tratti di interesse per la fauna ittica, con vere e proprie scale di risalita.

Per quanto attiene alle modalità costruttive occorre prendere in considerazione le tecniche dell'ingegneria naturalistica, con l'utilizzo di materiali quali gabbioni rinverditi, legname o pietrame. In particolare dovrà essere evitata la realizzazione di interventi che prevedono manufatti in calcestruzzo (queste opere, ove possibile, devono essere realizzate solo in casi strettamente necessari), scogliere o gabbionate non rinverdite, rettificazioni e modifiche del tracciato del corso d'acqua, eliminazione completa della vegetazione.

Il progetto dovrà prevedere esplicitamente il ripristino dell'area interessata dal cantiere.