

**Circolare P.C.M. 13 dicembre 1995, n. DSTN/2/22806**

**ALLEGATO**

**RACCOMANDAZIONI PER LA MAPPATURA DELLE AREE A RISCHIO DI  
INONDAZIONE CONSEGUENTE A MANOVRE DEGLI ORGANI DI SCARICO O AD  
IPOTETICO COLLASSO DELLE DIGHE**

1. Requisiti degli studi

Gli studi relativi alle onde di piena artificiali conseguenti a manovre degli organi di scarico o ad ipotetico collasso delle dighe consistono in un elaborato tecnico conforme alle indicazioni di seguito riportate.

Lo studio è completato dalla compilazione della scheda riportata in allegato alle presenti raccomandazioni.

I sopraindicati elaborati forniscono informazioni sugli scenari degli incidenti probabili in materia di dighe, anche sulla base dei quali sono redatti dai Prefetti i relativi piani di emergenza.

2. Descrizione della diga

Nella prima parte degli studi sono riportate tutte le informazioni di carattere generale utili per la identificazione e localizzazione della diga e per la conoscenza del suo utilizzo e della sua gestione. In esso sono pure descritte le principali caratteristiche dello sbarramento, dei suoi organi di scarico, dell'invaso artificiale, nonché del bacino idrografico sotteso ed è inoltre segnalata e localizzata la presenza di altri sbarramenti posti a monte e/o valle della diga.

Con riferimento al progetto originario della diga, è indicata la portata di progetto degli organi di scarico ed, eventualmente, le valutazioni delle portate di piena affluente nel bacino con assegnato tempo di ritorno. Ove disponibile è riportata anche l'entità della massima piena osservata.

3. Piene artificiali per manovre degli organi di scarico

Lo studio deve esaminare la variabilità dei parametri maggiormente significativi e di più incerta determinazione (scabrezze, interrimento, effetti bidimensionali, etc.), motivando adeguatamente la scelta dei valori assunti nel calcolo.

### 3.1. Ipotesi di manovra

Negli studi è valutato, separatamente, l'effetto della manovra dei soli organi di scarico profondi e di manovra contemporanea degli organi di scarico superficiali e profondi.

Nelle elaborazioni sono adottate le manovre di massima rapidità compatibili con il funzionamento, anche anomalo od accidentale, degli organi di scarico.

Quale schema semplificato può essere adottato quello di manovre istantanee.

Nel caso di manovra congiunta degli scarichi superficiali e profondi, deve essere verificato che lo schema di manovra adottato individui effettivamente la condizione più gravosa nei riguardi del picco della portata complessivamente effluente.

### 3.2. Condizioni idrauliche e valutazione delle portate effluenti

La valutazione delle portate effluenti attraverso gli organi di scarico è effettuata assumendo, quale condizione preesistente alla manovra, un livello del serbatoio pari alla quota massima di regolazione. Nelle elaborazioni si tiene conto delle variazioni del livello idrico nel serbatoio artificiale indotte dall'apertura degli scarichi. Per gli invasi di grande capacità, quale schema semplificato, può essere adottato un livello idrico del serbatoio di ritenuta costante nel tempo. Quest'ultimo schema deve comunque essere associato all'ipotesi di istantaneità della manovra di apertura degli scarichi. Si ipotizza che gli scarichi rimangano completamente aperti a tempo indeterminato.

### 3.3. Rilievi della geometria a valle della diga

La caratterizzazione geometrica delle aree potenzialmente soggette ad inondazione deve essere effettuata in base a cartografia ufficiale, o prodotta da soggetti pubblici, di sufficiente dettaglio, di norma a scala non inferiore a 1:5000, e con l'ausilio di specifici rilievi in sito.

Laddove la cartografia disponibile sia in scala 1:10000 o minore, devono essere effettuati specifici rilievi in sito per tutte le sezioni idrauliche dell'alveo e della valle interessate alla potenziale inondazione. Alla cartografia ufficiale, in tal caso, è riservato il ruolo di quadro d'insieme dei rilievi e di base per il tracciamento delle aree potenzialmente inondate.

Nei casi in cui invece la cartografia disponibile sia in scala 1:5000 o sia di dettaglio ancora maggiore, i rilievi in sito sono limitati a quelle sezioni corrispondenti a particolari configurazioni morfologiche del fiume, o caratterizzate dalla presenza di infrastrutture in alveo che possono assumere un ruolo di controllo delle modalità del deflusso durante il transito della piena artificiale.

Nei calcoli sono sempre utilizzate le sezioni normali alla direzione del moto, dopo aver verificato che esse risultino non solo in numero adeguato, ma anche localizzate in modo da consentire una corretta descrizione della variabilità della geometria dell'alveo e della valle. Nell'uso della cartografia deve essere sempre accertato che, dalla data del rilevamento, non siano intervenuti mutamenti nell'uso del territorio limitrofo al corso d'acqua, o lungo l'alveo stesso, il cui mancato rilievo possa alterare significativamente i risultati dello studio o ridurne l'immediata utilizzabilità ai fini della Protezione civile.

#### 3.4. Propagazione dell'onda di piena

Lo studio della propagazione verso valle dell'onda di piena dovuta a manovre degli organi di scarico delle dighe è affrontato, di norma, per mezzo di simulazione numerica. Non è però escluso l'impiego di modelli fisici.

L'applicazione dei modelli per la simulazione numerica della propagazione delle onde di piena è facilitato dall'esistenza di opportuni codici di calcolo, generalmente facenti riferimento a schemi di moto monodimensionale in forma più o meno semplificata. All'atto della scelta del codice di calcolo è opportuno sincerarsi che esso sia stato sottoposto ad ampie verifiche e sia stato validato sulla base di situazioni reali.

In tutti i casi si fa riferimento a modelli di propagazione della piena che considerano l'alveo fisso, cioè non soggetto a processi di erosione o deposito.

Il modello impiegato deve tenere conto di tutti i parametri e condizioni che possono portare a sensibili scostamenti dei risultati, quali ad esempio, coefficiente di scabrezza, la presenza di ostacoli naturali o artificiali (ponti, viadotti, rilevati, etc.) forti variazioni longitudinali e trasversali dell'alveo, etc.

In particolare il modello di propagazione deve tener conto:

- dell'eventuale presenza di marcati restringimenti delle sezioni idrauliche, sia di carattere naturale che legati alla presenza di strutture in alveo;
- dell'inondazione di ampie aree pianeggianti o fortemente urbanizzate;
- del sormonto di arginature o altre condizioni che portino alla formazione di zone allagate ove sia notevole l'espansione laterale della piena.

L'alveo a valle dello sbarramento va considerato inizialmente asciutto.

L'estensione del tratto fluviale soggetto al calcolo di propagazione deve essere non minore di 20 km a meno che esso non confluisca prima in mare o in un lago di grande capacità. In caso di confluenza in un altro corso d'acqua, il calcolo può essere arrestato solo allorché quest'ultimo presenti portate di piena naturali nettamente maggiori di quelle oggetto dello studio e cioè nei casi in cui sia scontato che la piena dovuta a manovre degli organi di scarico defluisca ben contenuta nell'alveo naturale a valle della confluenza.

### 3.5. Rappresentazione dei risultati

Il principale risultato richiesto agli studi in questione è l'individuazione delle zone soggette a potenziale inondazione: la mappa delle aree allagabili è la sintesi dei risultati delle varie elaborazioni che riveste la maggiore importanza.

La rappresentazione della massima estensione di tali aree deve, ovviamente, essere chiara e di facile lettura e localizzazione. E' dunque necessario che essa sia tracciata su una cartografia quanto più completa ed aggiornata possibile. E' opportuno che nelle zone di maggiore espansione dell'inondazione, siano anche riportate le curve di egual valore dei tiranti idrici.

Deve anche essere fornito, su supporto magnetico, un file ASCII in cui sono riportate le coordinate geografiche dei vertici della poligonale che descrive il perimetro delle aree allagate.

La rappresentazione dei risultati dello studio è completata con ulteriori elaborati tra i quali gli involuipi lungo tutto il tratto di fiume oggetto del calcolo di propagazione:

- delle massime altezze idriche;
- dei carichi idraulici totali;
- dei tempi di arrivo del colmo e delle quote del pelo libero;
- delle velocità della corrente;
- delle portate defluenti.

E' inoltre, ritenuto particolarmente utile che gli studi riportino anche i profili idrici longitudinali della piena per almeno tre istanti significativi.

Per completezza di esposizione, devono essere riportate anche le tabulazioni eventualmente sintetiche, dei valori numerici delle principali grandezze in gioco, fornite dai vari metodi o codici di calcolo adottati.

Occorre anche riportare, in forma grafica e tabellare, la curva di espansione dell'invaso e quella delle portate degli scarichi in funzione della quota di invasamento.

## 4. Piene artificiali per ipotetico collasso della diga

Anche in questo caso lo studio deve esaminare la variabilità dei parametri maggiormente significativi e di più incerta determinazione (formazione della breccia, scabrezze, interrimento, effetti bidimensionali, etc.), motivando adeguatamente la scelta dei valori assunti nel calcolo.

### 4.1. Ipotesi di cedimento

#### 4.1.1. Dighe murarie

La necessità di prefigurare la condizione di rottura più gravosa in relazione alla generazione dell'onda di piena, impone che il crollo sia considerato totale,

interessante cioè l'intera diga, a meno che la tipologia sia tale da richiedere la verifica di stabilità per ogni singolo elemento strutturale costituente l'opera. In tal caso il crollo può essere ragionevolmente ipotizzato parziale, interessante cioè i soli elementi strutturali di maggiore altezza, in numero comunque tale da fornire un rapporto tra le aree delle sezioni di breccia e diga non minore di 1/3.

L'asportazione della diga, o di una parte della quale si suppone il crollo, è considerata istantanea.

#### 4.1.2. Dighe di materiali sciolti

Nelle dighe di materiali sciolti l'asportazione del rilevato avviene con modalità di sviluppo della breccia nel corpo diga dipendenti dall'intensità dell'azione erosiva dell'acqua tracimante lo sbarramento.

Da quanto suddetto ne consegue che l'asportazione del rilevato risulta praticamente sempre parziale e progressiva.

#### 4.1.3. Dighe miste e serbatoi fuori alveo

Per le dighe miste e per i serbatoi fuori alveo, sono analizzate separatamente le varie ipotesi di cedimento, adottando quella che provoca la maggiore portata di picco nell'idrogramma di piena uscente attraverso la breccia, nonché quella che provochi l'allagamento di zone di particolare interesse a valle dello sbarramento.

### 4.2. Condizioni idrauliche alla rottura

#### 4.2.1. Dighe murarie

Per le dighe murarie è ipotizzato che il collasso della struttura non sia legato ad eventi idrologici intensi, cosicché la condizione idraulica iniziale più gravosa da considerarsi è quella di serbatoio pieno fino alla quota massima di regolazione.

Durante il processo di efflusso attraverso la breccia creatasi per rottura della diga, possono essere trascurate le portate in ingresso al serbatoio e le portate eventualmente rilasciate attraverso gli organi di scarico.

#### 4.2.2. Dighe di materiali sciolti

Per le dighe di materiali sciolti si ipotizza che il collasso sia dovuto ad una piena di carattere eccezionale, non smaltita dagli organi di scarico della diga, e che causi perciò il completo riempimento del serbatoio ed il sormonto dello sbarramento. Come condizione idraulica iniziale è dunque da assumersi un livello del serbatoio pari alla quota del coronamento della diga.

Salvo casi particolari, riferibili a dighe con invasi di modesto volume o dighe soggette ad onde di piena da rottura di sbarramenti posti a monte, le portate in ingresso al serbatoio durante lo svolgersi del fenomeno di efflusso per brecciatura

della diga possono essere trascurate, risultando il loro effetto contenuto nei riguardi del processo di generazione dell'onda di piena artificiale da rottura.

Le portate rilasciate attraverso gli organi di scarico superficiale sono valutate in relazione ai livelli idrici presenti nel serbatoio. Trattandosi di livelli superiori a quelli di progetto, occorre verificare la reale capacità di smaltimento delle portate da parte delle opere di scarico. Le portate rilasciate attraverso gli scarichi di mezzofondo e di fondo possono invece essere trascurate.

#### 4.3. Metodi di valutazione delle portate uscenti attraverso la breccia

##### 4.3.1. Tipo di approccio

Le portate uscenti attraverso la breccia a seguito del collasso di uno sbarramento di ritenuta sono valutate utilizzando metodologie di simulazione numerica. Non è però escluso il ricorso a modelli fisici.

##### 4.3.2. Dighe murarie

Per le dighe murarie una prima valutazione dell'onda di piena effluente può essere effettuata assimilando il fenomeno della rottura all'eliminazione istantanea di una paratoia di sezione trasversale pari a quella della diga inserita in un canale prismatico, utilizzando quindi i relativi risultati teorici.

Con un calcolo più accurato, generalmente basato su approcci di tipo numerico, è possibile tenere conto di quegli aspetti presenti nel fenomeno reale e non riprodotti dallo schema di paratoia nel canale.

##### 4.3.3. Dighe di materiali sciolti

Per le dighe di materiali sciolti l'ideogramma delle portate effluenti va determinato utilizzando modelli matematico-numeriche che permettono di riprodurre l'interazione tra la corrente defluente attraverso la breccia ed il materiale solido costituente il rilevato.

E' raccomandato il confronto tra i risultati forniti dai modelli matematico-numeriche con le formule empiriche basate su analisi statistiche dei dati relativi ai casi storici di rottura.

##### 4.3.4. Dighe miste o serbatoi fuori alveo

Per le dighe miste e i serbatoi fuori alveo, al fine di individuare l'ipotesi di rottura più gravosa da adottare in via definitiva nello studio, si dovranno valutare, secondo gli schemi descritti ai punti precedenti, le portate di picco risultanti dalle modalità di collasso citate al punto 4.1.3.

#### 4.4. Dighe in serie

Lo studio dell'ipotetica rottura di una diga posta a valle di un altro sbarramento artificiale, fermo restando la necessità del calcolo riferito al collasso della singola diga secondo quanto descritto ai punti precedenti, richiede un'ulteriore verifica.

E' infatti necessario esaminare anche la possibilità che l'evento che porta alla rottura della diga in esame si identifichi con l'onda generata dal collasso dello sbarramento artificiale di monte. Occorre verificare se gli organi di scarico della diga di valle siano in grado di far fronte all'onda di piena in arrivo (nel qual caso l'evento non provoca il collasso) o, viceversa, se si prefigura il completo riempimento dell'invaso e il suo successivo sormonto.

In quest'ultimo caso, anche per le dighe murarie, e in via cautelativa, va ipotizzato che il collasso dello sbarramento avvenga, secondo le modalità descritte al punto 4.1.1., in corrispondenza del raggiungimento del livello idrico nel serbatoio pari alla quota di coronamento.

Per onde di piena quali quelle generate da rottura di dighe poste a monte, le portate di ingresso al serbatoio risultano ovviamente tutt'altro che trascurabili e devono pertanto essere considerate nel calcolo. Tali portate, tuttavia, sono in questo caso ben definite essendo il risultato della propagazione dell'onda da rottura della diga di monte.

E' raccomandato che la valutazione delle onde di piena da rottura di dighe in serie sia svolta di concerto tra i gestori delle varie opere di ritenuta coinvolte e si concretizzi in un unico studio che fornisca un quadro d'insieme delle aree soggette a potenziale inondazione. In caso contrario, ogni studio deve estendere l'analisi fino al primo sbarramento artificiale presente a valle della diga in esame. E' evidente, in tal caso, che i gestori degli sbarramenti posti nella valle sono tenuti a fornire tutte le informazioni ed i dati necessari alla formulazione dello studio.

#### 4.5. Geometria delle aree a valle della diga

La caratterizzazione geometrica delle aree potenzialmente soggette ad inondazione deve essere effettuata sulla base della cartografia ufficiale, o prodotta da soggetti pubblici, alla scala di maggior dettaglio disponibile, e con l'ausilio di specifici rilievi in sito.

Laddove la cartografia disponibile sia in scala 1:25000, devono essere effettuati specifici rilievi in sito per tutte le sezioni idrauliche significative dell'alveo e della valle interessate alla potenziale inondazione, sufficienti cioè per la completa descrizione dei luoghi. Alla cartografia in scala 1:25000 è riservato il ruolo di quadro d'insieme dei rilievi e di base per il tracciamento delle aree potenzialmente inondate.

Nei casi in cui invece la cartografia disponibile sia in scala 1:10000 o 1:5000, o sia di dettaglio ancora maggiore, i rilievi in sito sono limitati a quelle sezioni, corrispondenti a particolari configurazioni morfologiche del fiume o caratterizzate dalla presenza di infrastrutture in alveo, che possono assumere un ruolo di controllo delle modalità del deflusso durante il transito della piena artificiale.

Nei calcoli sono sempre utilizzate le sezioni normali alla direzione del moto, dopo aver verificato che esse siano non solo in numero adeguato, ma anche localizzate in modo da consentire una corretta descrizione della variabilità della geometria dell'alveo e della valle. Nell'uso della cartografia occorre sempre accertare che dalla data del rilevamento, non siano intervenuti mutamenti nell'uso del territorio limitrofo al corso d'acqua, o lungo l'alveo stesso, il cui mancato rilievo possa alterare significativamente i risultati dello studio o ridurne l'immediata utilizzabilità ai fini della Protezione civile.

#### 4.6. Propagazione dell'onda di piena

Come nel caso delle onde di piena dovute a manovre degli organi di scarico, lo studio della propagazione verso valle dell'onda di piena da rottura di dighe è affrontato per mezzo di simulazione numerica. Anche in questo caso non è escluso l'impiego di modelli fisici.

Per quanto attiene ai modelli di calcolo della propagazione in alveo dell'ipotetica onda di piena da rottura di diga, valgono considerazioni analoghe a quelle riportate al punto 3.4.

All'atto della scelta del codice di calcolo è opportuno sincerarsi che esso sia stato sottoposto ad ampie verifiche e sia stato validato sulla base di situazioni reali.

Il modello impiegato deve tenere conto di tutti i parametri e condizioni che possono portare a sensibili scostamenti dei risultati, quali ad esempio coefficiente di scabrezza, la presenza di ostacoli naturali o artificiali (ponti, viadotti, rilevati, etc.) forti variazioni longitudinali e trasversali dell'alveo etc.

In particolare il modello di propagazione deve tener conto:

- dell'eventuale presenza di marcati restringimenti delle sezioni idrauliche, sia di carattere naturale che legati alla presenza di strutture in alveo;
- dell'inondazione di ampie aree pianeggianti o fortemente urbanizzate;
- del sormonto di arginature o altre condizioni che portino alla formazione di zone allagate ove sia notevole l'espansione laterale della piena.

*(Nota: Nella G.U. è omessa la numerazione 4.6.1. e 4.6.2.)*



#### 4.6.3. Trasporto di materiale solido

Le modificazioni della configurazione dell'alveo fluviale, per fenomeni di deposito o di erosione durante il passaggio delle piene da rottura di dighe, possono portare a marcati scostamenti, spesso a svantaggio della sicurezza, tra i reali livelli del pelo libero e le corrispondenti valutazioni fatte supponendo il fondo dell'alveo fisso.

I modelli a fondo mobile - che descrivono il propagarsi dell'onda di piena, le modificazioni dell'alveo e le interazioni tra tali due fenomeni - sono tuttavia alquanto complessi, spesso di difficile applicazione a situazioni reali e, generalmente, non implementati in codici di calcolo di facile impiego.

Negli studi, quindi, è sufficiente il riferimento a considerazioni di tipo qualitativo, che consentono di individuare le zone presumibilmente soggette ad elevato deposito, con possibilità di marcati sopralzi del pelo libero od ostruzione di luci di opere di attraversamento, e le zone ove è da attendersi una forte erosione, con rischio di crolli lungo le sponde ed improvvisa immissione di quantità notevoli di materiale solido in alveo. Nei casi in cui le considerazioni di tipo qualitativo facciano emergere un'influenza notevole dei fenomeni di trasporto dei sedimenti sull'estensione delle aree potenzialmente inondabili, è auspicabile che se ne tenga conto, anche in maniera approssimata, nel modello a fondo fisso, ovvero che si ricorra all'impiego di modelli anche semplificati a fondo mobile.

#### 4.6.4. Estensione del tratto fluviale soggetto al calcolo di propagazione

Il calcolo di propagazione è esteso a tutto il tratto fluviale a valle della diga lungo il quale le massime portate dovute all'onda artificiale si mantengono superiori alle portate naturali considerate nella formulazione dei piani di previsione e prevenzione degli eventi di piena naturali. In mancanza di indicazioni specifiche, può essere assunta una portata di piena naturale associata ad un tempo di ritorno pari a 500 anni. Il principio suddetto si mantiene valido anche nel caso di confluenza in laghi naturali: il calcolo può essere arrestato solo allorché l'effetto di laminazione del lago sia tale che nell'emissario le portate defluenti non superino quelle considerate nei piani di previsione e prevenzione delle piene naturali.

Nel caso di confluenza in laghi artificiali occorre riferirsi alle indicazioni riportate al punto 4.4.

#### 4.7. Rappresentazione dei risultati

Per la rappresentazione dei risultati dello studio, restano valide le considerazioni già riportate al punto 3.5.

Il principale risultato richiesto è l'individuazione delle zone soggette a potenziale inondazione: la mappa delle aree allagabili è la sintesi dei risultati delle varie elaborazioni che riveste la maggiore importanza.

La rappresentazione della massima estensione di tali aree deve, ovviamente, essere chiara e di facile lettura e localizzazione. Affinché essa risulti di immediata utilizzazione ai fini della Protezione civile, è necessario che venga tracciata su una cartografia quanto più completa ed aggiornata possibile. E' anche opportuno che siano riportate su di essa le curve di egual valore dei tiranti idrici nelle zone di maggiore espansione dell'inondazione. Deve anche essere fornito su supporto magnetico un file ASCII in cui sono riportate le coordinate geografiche dei vertici della poligonale che descrive il perimetro delle aree allagate.

La rappresentazione dei risultati dello studio è completata con ulteriori elaborati tra i quali non dovranno mancare gli involuppi tracciati lungo tutto il tratto di fiume, oggetto del calcolo di propagazione:

- delle massime altezze idriche;
- dei carichi idraulici totali;
- dei tempi di arrivo del colmo;
- delle quote del pelo libero;
- delle velocità della corrente;
- delle portate defluenti.

E' inoltre ritenuto particolarmente utile che gli studi riportino anche i profili idrici longitudinali della piena per almeno tre istanti significativi.

Per completezza di esposizione devono essere riportate anche le tabulazioni, eventualmente sintetiche, dei valori numerici delle principali grandezze in gioco, fornite dai vari metodi o codici di calcolo adottati.

E' opportuno, infine, che sulle mappe siano individuate ed evidenziate:

- le opere di attraversamento del corso d'acqua che possano essere sormontate dalla corrente o che si prestino a rischio di erosione;
- i tronchi fluviali per i quali il pericolo di esondazione può essere aggravato da fenomeni di sovralluvionamento dell'alveo o da ostruzioni delle luci delle opere di attraversamento;
- le aree protette dalla piena da argini o terrapieni, indicando le quote assolute del pelo libero in alveo, ottenute dal calcolo di propagazione, utilizzate per la loro perimetrazione.