

**Comitato Nazionale Italiano  
delle Grandi Dighe ITCOLD**

**ANALISI DI RISCHIO**

**Ricerche applicate in corso e possibili applicazioni delle metodologie dell'analisi di rischio alla  
realtà italiana (dal punto di vista tecnico, socio-economico,...).  
Obiettivi perseguibili a breve, medio e lungo termine**



2004

## **Membri del Gruppo di Lavoro**

*Ing. Gabriella Giuseppetti<sup>1</sup> Coordinatore:*

*Prof. Michele Fanelli*

*Ing. Paola Manni*

*Prof. Massimo Amato*

*Prof. Luigi Doria*

*Ing. Pasquale Palumbo*

*Ing. Carlo Ricciardi*

*Ing. Massimo Amirante*

*Dott. Stefano Clementel*

*Ing. Massimo Meghella*

*Ing. Guido Mazzà*

---

<sup>1</sup> Alla compianta Gabriella Giuseppetti, che ha coordinato le attività del Gruppo di Lavoro e che ha dedicato gran parte della Sua vita professionale al mondo delle dighe, va la stima e l'affetto di colleghi ed amici.

## **Scopo delle attività del gruppo**

*Fornire all'ITCOLD una sintesi dello stato dell'arte del tema in oggetto e dei suoi possibili sviluppi sia applicativi che di ricerca (soprattutto nella realtà italiana) per promuovere una giornata di studio sull'argomento.*

*Le attività svolte dal gruppo saranno oggetto di un rapporto di sintesi che verrà illustrato al Consiglio Direttivo ITCOLD al fine di fornire elementi di giudizio per l'organizzazione di un seminario di studio sul tema.*

## Indice

1. Premessa
2. Introduzione
  - 2.1 *Analisi e Gestione del Rischio* per le dighe esistenti
  - 2.2 *Analisi di rischio* per le dighe in fase di progettazione
3. Concetti e principi fondamentali dell'*Analisi di Rischio*
  - 3.1 *Definizione di Analisi del Rischio e di Gestione del Rischio*
  - 3.2 *Breve esame critico delle metodologie di Analisi di Rischio*
4. Esame dei settori nei quali l'analisi di rischio rappresenta una tecnologia matura: il contesto europeo
5. Applicazioni delle analisi di rischio nel settore delle dighe
  - 5.1 *Il contesto internazionale*
  - 5.2 *La gestione del rischio residuo in ambito nazionale*
  - 5.3 *La Ricerca di Sistema del settore elettrico*
6. Applicazioni delle analisi di rischio nel settore delle dighe: presentazione di un case-history
7. Gli aspetti socio-economici della gestione integrata del rischio nel settore delle dighe: il contributo della certificazione ambientale
  - 7.1 *L'importanza di un approccio integrato nella gestione del rischio nelle dighe*
  - 7.2 *Il ruolo della certificazione ambientale nella gestione e nella comunicazione del rischio: introduzione ad EMAS*
  - 7.3 *L'applicazione di EMAS nelle dighe*
8. Conclusioni

## Bibliografia

Allegato: *Proposta di modifica nella definizione dell'affidabilità strutturale delle dighe*

## 1. PREMESSA

La problematica della valutazione del rischio può essere fatta risalire, nei suoi primordi del tutto empirici, al trapasso tra Medioevo e Rinascimento, con lo sviluppo delle pratiche bancarie e assicurative in cui il rischio era di tipo finanziario, legato ad esempio alla perdita delle navi e del loro carico nelle spedizioni commerciali.

Chi gestiva e finanziava quel tipo di attività aveva ben presente sia il valore dei beni soggetti a rischio che l'alea dei viaggi, al punto da sviluppare pratiche non banali di diversificazione e composizione delle rotte e dei carichi per minimizzare il rischio complessivo d'impresa e il suo impatto sui profitti, in un certo senso gestendo le proprie piccole o grandi flotte commerciali come il moderno investitore fa con un qualsiasi portafoglio titoli.

Nei secoli successivi lo sviluppo del calcolo delle probabilità iniziò a fornire un possibile supporto razionale, necessario ma non sufficiente, ad una valutazione quantitativa di uno dei fattori il cui prodotto compone il 'rischio' inteso in senso moderno: la probabilità di accadimento di un evento foriero di danni (v. oltre). Nella seconda metà del secolo XX°, la teoria dei giochi, la ricerca operativa e le discipline connesse ebbero come scopo precipuo anche se non unico la valutazione e la gestione del rischio nelle attività più disparate e conobbero un grande sviluppo anche per via delle possibili applicazioni militari. Infine la necessità di una esplicita valutazione e gestione del rischio iniziò a promuovere lo sviluppo e l'applicazione di tecniche specifiche nei vari campi ingegneristici, costruttivi e manageriali. E' ovvio che, se i principi di base della valutazione del rischio sono comuni a tutte le attività interessate, gli strumenti applicativi e gestionali devono essere calati negli ambiti specifici ed adattati ad ogni realtà particolare. L'ingegneria delle dighe ha sofferto, rispetto agli altri campi dell'ingegneria civile, di un certo ritardo che attraverso sforzi decentrati a livello nazionale, ed in parte attraverso sforzi di coordinamento a livello internazionale svolti dai Comitati Tecnici dell'ICOLD, si sta cercando di colmare; tali sforzi incontrano difficoltà dovute alla particolare complessità del tema. Rispetto al panorama internazionale si sente il bisogno di attivare sforzi analoghi anche in Italia, dove il ritardo di cui si è detto è forse più accentuato che altrove; da qui, su iniziativa dell'ITCOLD, la costituzione del Gruppo di Lavoro C, suddiviso nei sottogruppi C1 e C2. Qui di seguito si riferisce delle attività del sottogruppo C2.

Storicamente, anche nell'evo antico si costruirono opere di sbarramento, ed è superfluo dire che tali opere furono costruite su base puramente empirico-intuitiva, in assenza di ogni formulazione scientifica dei problemi di stabilità, di sicurezza e di gestione del rischio; il fatto che alcune di queste dighe –peraltro di dimensioni modeste secondo gli standard attuali- siano sopravvissute sino ai giorni nostri starebbe paradossalmente a dimostrare che le analisi scientifiche della loro stabilità e del rischio, se sono condizioni spesso sufficienti per garantirne la 'sicurezza', non sono strettamente necessarie! Ma alla luce di quanto sappiamo oggi si può affermare –per le opere che sono arrivate sino a noi, a fronte di altre di cui si sa che rovinarono- che ciò può essere avvenuto solo a spese di quello che con i criteri attuali sarebbe considerato un sovradimensionamento; con l'aumento delle dimensioni delle opere e dei costi della mano d'opera (quindi con l'esigenza di evitare i sovradimensionamenti contenendo necessariamente, assieme ai volumi dei materiali impiegati, i margini di resistenza) i problemi dell'analisi strutturale e idrologica e della gestione dei rischi sono diventati preminenti nell'ingegneria delle dighe. Ciò può farsi datare, schematicamente, sin da quando (secolo XIX°) si sono verificati sia la rapida crescita del numero di costruzioni (sino a raggiungere il numero attuale, assommante oggi nel mondo a più di 40000 grandi dighe), sia le conoscenze ed i dati statistici sulle azioni estreme, sia il progresso dei metodi scientifici di analisi quantitativa, su base deterministica o probabilistica, delle strutture e degli eventi idrologici. La previsione (ed il

controllo) del comportamento in servizio della struttura, obiettivo principe del progettista di dighe, se ha come finalità tecnico-economica l'ottimizzazione del progetto, ha anche come preminente finalità 'sociale' la tutela della 'sicurezza' (o, come è preferibile dire, la 'gestione del rischio') sia dell'opera che del tessuto socioeconomico del territorio esposto alle conseguenze di un eventuale cedimento. La percezione del rischio di un cedimento strutturale si è fatta via via più acuta nell'opinione pubblica in conseguenza di alcuni drammatici incidenti, nonostante che le dighe si possano oggi considerare tra le strutture più controllate e 'sicure' in confronto ad altre sorgenti di rischio (ad es. gasometri, industrie chimiche, pipelines...) forse più insidiose ma non altrettanto cospicuamente presenti nel mirino della coscienza collettiva; gli sforzi dell'ingegneria delle dighe per quanto attiene alle problematiche di tipo strutturale o idraulico sono pertanto sempre più focalizzati sull'analisi e sulla gestione del rischio. In questo quadro gli strumenti di 'analisi del rischio', nati ed applicati prioritariamente in altri campi, possono (ed ancor più potranno in futuro, se adeguatamente adattati al caso specifico) svolgere un ruolo importante per razionalizzare ed uniformare la 'gestione del rischio' connesso all'esistenza delle dighe; si deve osservare a tal proposito che nel nostro Paese le metodologie e gli strumenti propri dell'analisi in questione non sono ancora sufficientemente conosciuti e diffusi nell'ambiente tecnico dei progettisti, dei costruttori e dei gestori di dighe (né hanno fatto sinora l'oggetto di emanazione di regole e norme da parte delle Autorità preposte al controllo delle opere di sbarramento), e l'iniziativa dell'ITCOLD di formare un Gruppo di Lavoro su tale tema viene pertanto a costituire una prima risposta alla necessità di aggiornamento, prima di tutto culturale, in tale campo. Prima di entrare in dettagli tecnici è opportuno svolgere alcune considerazioni di ordine generale che aiutino a bene inquadrare i termini del problema.

L'analisi di rischio non è che uno strumento tecnico tra i tanti al servizio delle strategie decisionali per la gestione ottimale dei rischi e delle risorse legati all'interazione tra la dimensione umana e quella naturale di un determinato territorio; concretamente, deve fornire supporto alla decisione di come utilizzare le risorse (umane, finanziarie, organizzative, tecniche) disponibili alla mitigazione dei rischi in esame. Riconosciuta la necessità di considerarla in tale ottica, non ci si può sottrarre all'interrogativo: a quale tipo di gestione viene destinata l'analisi in parola? Domanda non oziosa, perché a priori possono darsi risposte diverse, e ciò si rifletterà anche sul possibile uso corretto o meno dei vari strumenti analitici a priori proponibili, nonché sulla possibilità, non scevra di inconvenienti, che se ne diano interpretazioni ed impieghi non omogenei da parte dei vari soggetti coinvolti a diverso titolo nel processo decisionale e nelle ricadute delle scelte operative.

Per scendere ad un esempio concreto anche se limitativo: l'analisi del rischio di strutture esistenti deve servire a stabilire una graduatoria di priorità negli interventi e quindi nell'allocazione delle limitate risorse finanziarie disponibili? Oppure deve servire a rivelare situazioni da correggere, sempre e comunque? E' evidente che i due punti di vista rispondono a categorie mentali limite, la prima potendo rappresentare una schematizzazione estrema dell'ottica dell'operatore economico, la seconda il punto di vista dell'opinione pubblica media ridotto alla sua espressione più intransigente. E' evidente altresì che in una società organizzata secondo istituzioni di tipo 'democratico' i due punti di vista (come pure altri che non si possono escludere) dovrebbero confrontarsi nel modo più chiaro e trasparente possibile, allo scopo di arrivare ad una conciliazione delle differenti (ed in gran parte contrastanti) esigenze che non venga distorta da discordanti percezioni, malintesi o sottintesi. Vale anche la pena di rimarcare l'ovvio fatto che, sempre facendo riferimento ai regimi democratici, l'opinione pubblica pretende giustamente il diritto di far valere le proprie ragioni –attraverso i propri rappresentanti eletti- in contraddittorio coi portatori degli interessi economici, siano questi pubblici (e qui il diritto di avere voce in

capitolo è diretto, in quanto i fondi pubblici da gestire sono alimentati dalla platea dei contribuenti attraverso le imposte o i titoli di credito verso l'erario) o anche privati, dato che il fondamento del contratto sociale è la limitazione che il vincolo dell'interesse collettivo pone (o dovrebbe porre) alla libertà di azione del privato.

E' anche evidente che lo spostamento dell'accento verso l'uno o l'altro dei due punti di vista estremi si riflette sui requisiti richiesti allo strumento tecnico *analisi del rischio*: nel primo caso basterebbe infatti uno strumento che dia una valutazione relativa del rischio di situazioni differenti tra cui le risorse debbano essere ripartite<sup>2</sup>, mentre nel secondo caso si dovrebbe rincorrere l'ideale di una valutazione 'oggettiva', quanto più possibile rigorosa ed 'assoluta', del rischio di ogni situazione fonte di potenziale danno; e si dovrebbe altresì – cosa in cui non sempre l'ottica dell'opinione pubblica si rivela equanime o lungimirante – considerare con obiettività e imparzialità di giudizio tutte le fonti di pericolo, nessuna esclusa. Esigenze, queste ultime, che per le considerazioni esposte in altra sede appaiono, allo stato dell'arte, di non facile (per non dire impossibile) raggiungimento.

*OSSERVAZIONE- Quanto detto sopra è in realtà ancora eccessivamente schematico. La differenza tra valutazione relativa e oggettiva nella pianificazione dell'uso delle risorse disponibili ai fini della mitigazione del danno è effettiva solo se le decisioni da prendere sono di tipo zero/uno, cioè se devo decidere se spendere una somma su X o su Y: in tal caso mi basta sapere, del tutto relativamente, se il rischio maggiore lo corro su X o su Y. Se invece il problema è del tipo "dividere una somma tra n interventi, minimizzando il rischio totale" allora devo sapere non solo l'ordine "cardinale" dei vari rischi, ma anche la loro consistenza oggettiva e in che misura ciascuno può essere ridotto dall'utilizzo dei fondi disponibili. Il problema in questo caso conduce a un vero e proprio sistema di equazioni, oltretutto non lineari.*

---

<sup>2</sup> Notare che lo strumento di analisi è neutrale rispetto alle strategie di scelta, nel senso che il metodo per definire le scelte in base ai parametri di rischio deve essere definito con criteri esterni all'analisi di rischio stessa.

## 2. INTRODUZIONE

### 2.1 ANALISI E GESTIONE DEL RISCHIO PER LE DIGHE ESISTENTI

Tra le infrastrutture tipiche delle società evolute (infrastrutture che tutte, più o meno, comportano dei rischi a fronte dei benefici attesi) un posto preminente spetta a quelle destinate alla gestione delle acque. Il discorso non è necessariamente limitato alle società moderne industriali e post-industriali: anche nelle grandi società evolute (organizzate) dell'antichità tali infrastrutture, e le autorità preposte alla loro pianificazione e controllo, occupavano un posto di tutto rilievo nella gestione della cosa pubblica. Basti ricordare l'antica Mesopotamia, l'Egitto, gli acquedotti dell'antica Roma, le gigantesche opere idrauliche attuate in Cina, la città-stato di Venezia col suo Magistrato alle Acque; e basti ricordare, per richiamare l'aspetto del rischio, alcune catastrofi che gli storici fanno risalire al crollo di grandi dighe dell'antichità (ad es. al crollo della diga sull'Oronte). In tempi più recenti le catastrofi del Gleno, di Malpasset, del Vajont, della diga di Tous, del Teton e numerose altre minori (ad esempio –se includiamo le dighe di sterili minerari- Stava in Italia) hanno punteggiato la storia dello sviluppo delle gestioni delle acque nei territori ed hanno condotto alla nascita di movimenti di vivace opposizione contro la costruzione di nuovi sbarramenti. D'altra parte pressioni economiche (rapida crescita dei bisogni globali, da cui l'esigenza di riduzione dei costi unitari) e circostanze ambientali (progressivo esaurimento delle risorse territoriali) hanno prodotto la tendenza a ridurre i *margini di certezza* (inducendo a realizzare opere sempre più grandi ed ardite) e l'abbandono del punto di vista *costruire per l'eternità*, conducendo piuttosto ad una ingegneria delle acque che si può definire l'arte di *gestione delle incertezze* e del *costruire per un orizzonte temporale limitato* (ciò in realtà si potrebbe dire di tutta l'ingegneria moderna, che è ulteriormente complicata dal passaggio da un mondo *ad isole* ad un mondo *a reti*). Si comprende quindi che vi sia una forte motivazione per sviluppare una razionale analisi del rischio applicata sia alle situazioni già in essere (dighe già costruite ed in esercizio da tempo più o meno lungo), sia a progetti di nuovi sbarramenti.

Ma come si forma, in termini quantitativi, il rischio rappresentato da una diga?<sup>3</sup>

E' forse necessario richiamare che in senso proprio il rischio si definisce in generale come prodotto della probabilità dell'evento sfavorevole per il valore monetario del danno che sarebbe causato dal verificarsi dell'evento stesso; è, quindi, una misura valutaria di un costo statisticamente atteso. Ed è opportuno ricordare che il rischio può assumere carattere e valore quantitativo diversi a seconda del soggetto che, in una transazione o in una situazione dinamica, può o deve sopportarne le conseguenze.

[OSSERVAZIONE. Così ad esempio nel controllo statistico di qualità di una produzione industriale di serie si definiscono due diverse categorie di rischio:

-il rischio del produttore, definito come il rischio relativo all'ipotesi che un lotto in realtà di qualità accettabile venga respinto in base ai risultati del piano di controllo (che non è mai affidabile al 100%); tale rischio dipende evidentemente dalla qualità del prodotto, dal piano di controllo...

-il rischio dell'acquirente, definito come il rischio relativo all'ipotesi che un lotto in realtà di qualità non accettabile venga accettato in base ai risultati del piano di controllo.

Nelle transazioni assicurative si può ugualmente definire il rischio dell'assicurato e quello dell'assicuratore; e così via per varie tipologie di dinamiche economico-finanziarie<sup>4</sup>.]

<sup>3</sup> Ovviamente anche altre infrastrutture idrauliche, e non solo le dighe, presentano aspetti di rischio e pongono il problema della sua valutazione: ad es. gli acquedotti, i canali a pelo libero e le gallerie in pressione, le condotte forzate... Tuttavia le dighe rappresentano di solito il potenziale di danno maggiore e più immediato, e nel gruppo di lavoro C2 dell'ITCOLD il discorso viene limitato pertanto alle opere di sbarramento.

<sup>4</sup> Un possibile criterio di equità consisterebbe nel richiedere che il rischio sia equilibrato tra i vari 'attori': nel modello schematico in cui gli attori sono solo due il 'giuoco' dovrebbe essere a somma zero, ossia i due rischi dovrebbero



Nel caso di un gestore di dighe, si potranno a tal proposito presentare le casistiche più svariate, a seconda della combinazione di vari fattori:

- il gestore gestisce un'unica diga o un parco dighe (e se del caso, quanto numeroso)?
- il gestore si assicura presso assicuratori professionali contro i rischi verso terzi ed i danni alle sue proprietà, oppure provvede in proprio a garantire contro eventuali danni, sia propri che altrui?
- le dighe gestite incombono su aree densamente popolate/industrializzate o su aree a bassa antropizzazione?
- la situazione locale comporta probabilità particolarmente elevata di eventi estremi (ad es. terremoti di grande magnitudo, piene catastrofiche)?... ecc.

Inoltre si potrà definire un *rischio dell'assicuratore di dighe* (eventuale), un *rischio del singolo direttamente esposto ad eventuali danni causati dalla diga*, un *rischio del singolo o dell'attività indirettamente esposti* (ad es. il rischio di fornitori, localizzati altrove, delle industrie esposte direttamente che potrebbero subire interruzioni dell'attività).

E' solo in base ad una radicale schematizzazione che si può parlare di un unico rischio (globale), definito come prodotto della probabilità dell'evento sfavorevole per il valore monetario del danno (globale) che sarebbe causato dal verificarsi dell'evento stesso; è infatti difficile identificare tutti i soggetti componenti la platea dei potenziali danneggiati e la rete delle eventuali esposizioni mutue. Senza parlare dell'eventualità che l'accadimento dannoso possa causare perdite di vite umane, che l'etica vieta di monetizzare a priori anche se in sede di eventuali procedimenti giudiziari tale monetizzazione viene di fatto attuata (a posteriori), a parte eventuali conseguenze penali.

Il parlare di rischio secondo la definizione datane sopra è ammissibile, a ben vedere, non solo in base all'assunto implicito che alla fine per ogni danno ci sia *qualcuno* che paghi, o monetariamente o sopportando un danno personale (che nel computo viene comunque monetizzato, secondo parametri convenzionali che non è detto siano *equi*), ma anche accettando che abbia senso parlare di un rischio globale senza preoccuparsi della sua ripartizione tra i danneggiati.

Tenendo presente quanto detto sinora circa i limiti del concetto di rischio, *l'analisi di rischio* applicata alle dighe esistenti comporta comunque la valutazione quantitativa dei due fattori del rischio: la probabilità dell'evento sfavorevole e il valore monetario del danno causato dal verificarsi dell'evento. Il secondo fattore (valore monetario del danno) è in linea di principio valutabile nell'istante attuale con ristretto margine di incertezza<sup>5</sup>; sarebbe già più difficile attualizzarlo ad una data futura, poiché non sarebbe priva di alea ogni stima del futuro sviluppo socioeconomico del territorio affetto dal danno (in effetti il danno futuro è variabile dipendente, in maniera soggetta ad incertezza, dall'epoca –incognita- a cui si

---

idealmente essere uguali. E' d'altra parte ovvio che coloro i quali –come gli assicuratori- lucrano professionalmente sul differenziale tra i premi riscossi (al netto delle spese di gestione) e gli importi liquidati per l'indennizzo dei danni dovranno in realtà premunirsi in modo da conservare statisticamente un margine di utile: in questo caso il giuoco non è più a somma zero, l'assicurato risultando in media sfavorito.

<sup>5</sup> Che il danno causato dall'evento sia valutabile con ristretto margine di incertezza nel presente è affermazione valida come generalizzazione, ma a ben vedere presenta a sua volta ulteriori complicazioni: ad esempio il danno può variare moltissimo addirittura in dipendenza dall'ora del verificarsi dell'evento (se la scuola crollata in Molise durante il recente terremoto [febbraio 2003] fosse crollata alle tre di notte non ci sarebbero state perdite di vite umane), e dalla stagionalità: quest'ultimo fattore è più collegabile al caso delle dighe, perché ad esempio certe vallate possono essere più o meno abitate a seconda della stagione (si pensi al citato disastro di Stava, avvenuto a campeggi ed alberghi pieni di turisti) e poi per la diversa gestione stagionale degli invasi e quindi del rischio connesso. Tuttavia l'affermazione può essere ritenuta se si fa riferimento al 'worst case scenario', ossia all'ipotesi che l'incidente si verifichi nel momento più sfavorevole ai fini dell'entità del danno totale.

verificherà l'evento sfavorevole<sup>6</sup>). Il primo fattore (probabilità dell'evento sfavorevole) viene valutato con tecniche diverse, tutte aperte a serie critiche<sup>7</sup> quanto alla rispondenza della stima che si ottiene rispetto alla reale probabilità dell'evento (ammesso che tale parametro abbia in effetti un valore *reale* e non si riduca invece ad un costrutto intellettuale convenzionale basato su conoscenze e modelli inevitabilmente incompleti, imperfetti e relativi). Occorre perciò guardarsi dall'attribuire un valore *assoluto* al rischio risultante, e prendere con molta cautela eventuali comparazioni tra rischi di situazioni diverse, o di scenari diversi (in quanto le valutazioni fatte nei casi da comparare potrebbero essere disomogenee, o viceversa risultare dall'applicazione di criteri omogenei a casistiche eterogenee che richiederebbero strumenti differenziati).

Le difficoltà aumentano ancora, come si vedrà nel prossimo paragrafo, nella valutazione del rischio per una diga ancora da realizzare.

Tutto ciò non deve essere inteso come critica distruttiva che possa indurre a trascurare o ad abbandonare le valutazioni del rischio, ma come incentivo a rendere più chiari ed espliciti i termini del problema (ed i limiti degli strumenti impiegati per darne soluzione) a tutti i soggetti interessati, in modo da evitare fraintendimenti altrimenti molto probabili. Da questi fraintendimenti possono in effetti derivare conseguenze molto negative sul piano economico, come ad esempio una decisione di limitare l'invaso, imposta dalle Autorità di controllo, che venisse presa in conseguenza di un'analisi di rischio eccessivamente pessimista influenzata da un'opinione pubblica non sufficientemente (o non obiettivamente) informata.

La *gestione del rischio* si esplica attraverso la realizzazione equilibrata di varie fasi in parte temporalmente successive, in parte sovrapposte:

- la previsione del rischio attraverso l'analisi;
- il monitoraggio e l'adozione tempestiva di provvedimenti rimediali se richiesti dai risultati dello stesso;
- la preparazione dei piani di emergenza e delle organizzazioni di soccorso;
- la mitigazione delle conseguenze in caso di accadimento dell'evento sfavorevole.

## 2.2 ANALISI DI RISCHIO PER LE DIGHE IN FASE DI PROGETTAZIONE

E' bene osservare che questa tipologia di analisi di rischio, che non si identifica *tout court* con quanto visto nel paragrafo precedente, potrebbe apparire di scarso interesse per l'ambiente italiano, ove le nuove costruzioni (e di conseguenza la loro progettazione) rappresentano sempre più un fatto eccezionale. *[A valle della progettazione e nel caso si decida favorevolmente per la realizzazione dell'opera, discorso a parte meriterebbe la valutazione del rischio durante le fasi di costruzione, che qui per brevità non viene analizzata]*. Ma in realtà si sa che il nostro paese necessiterebbe di nuove capacità di accumulo per un totale non molto minore di quello già esistente<sup>8</sup>, e che le difficoltà che si oppongono alla realizzazione di questi nuovi invasi sono legate in buona misura alla

---

<sup>6</sup> In un modello apparentemente 'razionale' il rischio  $R$  andrebbe valutato come  $R = \sum_{t_i} P(t_i).D(t_i)$ , dove  $P(t_i)$  è

la probabilità che l'evento sfavorevole si verifichi al tempo  $t_i$  (esclusivo degli altri istanti; la somma  $\sum_{t_i} P_i$  deve

uguagliare la probabilità che l'evento si verifichi nell'intervallo coperto da tutti gli istanti della sommatoria, intervallo che pragmaticamente si può far coincidere col periodo di 'vita utile' dell'opera, di solito per una diga dell'ordine dei 100 anni) e  $D(t_i)$  è il valore del danno prodotto dall'evento se esso si verifica al tempo  $t_i$ . E' evidente la difficoltà di valutare in maniera attendibile i vari termini dell'equazione.

<sup>7</sup> Si vedano le considerazioni critiche espone in altra sede ed in parte nel seguito del presente Rapporto.

<sup>8</sup> A fronte di una capacità totale degli invasi esistenti dell'ordine di 15 MLD di metri cubi, il fabbisogno di nuove capacità che sarebbe opportuno realizzare entro il 2015-2020 è stimato in circa 9 MLD di metri cubi.

percezione del rischio da parte dell'opinione pubblica, percezione ingigantita dalla mancanza di analisi obiettive e dalla risonanza mediatica. Pertanto una corretta impostazione dell'*analisi di rischio* e più ancora della *gestione del rischio* nella progettazione di nuove dighe sarebbero in realtà fattori vitali nel facilitare il superamento delle difficoltà che si incontrano nel dotare il nostro paese di quelle infrastrutture oggi ancora carenti e in prospettiva indispensabili per far fronte alle future più che probabili crisi idriche (per non parlare dell'attenuazione del rischio idrogeologico, cui le regioni italiane sono tutte più o meno esposte e che nuovi invasi strategicamente disposti potrebbero contribuire ad alleviare). Da notare che logicamente il rischio, così come si definisce correttamente (v. paragrafo precedente), dovrebbe entrare a far parte dei *costi* nel computo del costo globale previsto per l'opera in fase di progettazione.

La valutazione del rischio per una nuova diga, riferendosi necessariamente ad un istante futuro (visti i tempi non brevi intercorrenti tra la progettazione, la realizzazione e la messa in servizio di una diga), comporta una previsione dello sviluppo nel tempo del tessuto socio-economico del territorio interessato (sviluppo che, come già puntualizzato in altre occasioni, potrà essere influenzato, positivamente o negativamente, dalla costruzione del nuovo sbarramento). Come per ogni nuova grande opera, l'ideazione di una nuova diga deriva da una proiezione nel futuro delle cognizioni relative alle tendenze del presente, con l'ambizione di correggere quelli che appaiono come sviluppi che, se lasciati alla dinamica *naturale*, porterebbero conseguenze indesiderate (*cognitive feedback* del futuro sul presente); da queste proiezioni, e dalle decisioni che eventualmente ne conseguono, derivano modifiche delle possibili traiettorie future di sviluppo (*feedback* del presente sul futuro). Le politiche di gestione territoriale devono necessariamente farsi carico di un ordinato ed omogeneo governo di queste elaborazioni, che possono provenire –con criteri e finalità eterogenee- sia da organismi pubblici che da entità private.

E' anche evidente che in fase di progettazione integrata della gestione delle risorse territoriali sarebbe necessario legare strettamente l'analisi del rischio (o meglio l'analisi congiunta del rischio e dei benefici delle costruzioni progettate) alle scelte strategiche di gestione del rischio<sup>9</sup>. Recenti studi americani, supportati da qualche applicazione concreta, suggeriscono –come d'altra parte il buon senso non può che confermare- che in questa fase i migliori risultati si possono ottenere coinvolgendo negli studi e nelle decisioni tutte le parti interessate, compresi ovviamente i rappresentanti delle comunità e degli interessi locali. Poiché, come si è visto, è inevitabile una relativizzazione della valutazione del rischio a seconda del punto di vista, solo una scelta concordata e contrattata dei pesi dei vari fattori e dei parametri numerici soggetti ad incertezze valutative può infatti evitare che le decisioni operative prese al termine dell'iter progettuale appaiano all'opinione pubblica come imposte dall'alto, e siano quindi destinate a produrre insofferenza, diffidenza ed opposizione. Il procedimento di contestualizzazione delle scelte progettuali e gestionali può essere sistematizzato ad esempio lavorando su una matrice in cui le righe siano i fattori soggetti alle scelte progettuali e le colonne le realtà su cui tali scelte vanno ad incidere; la contrattazione tra le parti in causa dovrebbe portare ad assegnare ad ogni casella della matrice un peso (negativo per i rischi, positivo per i benefici) concordato, cosicché nella valutazione globale rischi/benefici si lavori con una metodologia esente, per quanto possibile, da contestazioni.

Un'altra problematica di tipo progettuale/normativo potrebbe aprirsi qualora l'analisi di rischio prendesse piede come consuetudine generalmente seguita. Allora non sarebbe più eludibile l'inclusione nel Regolamento, o nelle Norme tecniche che lo accompagnano, di linee guida e di requisiti minimi per l'esecuzione di tale analisi. Si affronterebbe con ciò un problema di grande delicatezza, perché non si potrebbe ignorare l'altro problema a valle, e

---

<sup>9</sup> Evidentemente tali scelte devono essere esplicitate, mentre sino ad un recente passato erano implicite (del tutto o in parte).

cioè quale uso dovrebbero/potrebbero fare del *rating di rischio* le Autorità di controllo. Queste considerazioni sembrano indicare la necessità di partecipazione del RID (oltre che di qualificati rappresentanti sia dei progettisti che dei gestori) ad ogni studio e proposta in merito alle metodologie di cui stiamo parlando, nonché l'opportunità di procedere in merito con grande cautela e gradualità. Ad esempio il Regolamento, o le Norme tecniche, potrebbero in una prima fase raccomandare l'esecuzione dell'analisi di rischio, ed indicarne le procedure preferenziali, senza sancirne l'obbligatorietà, che potrebbe essere rimandata ad una seconda fase da iniziare dopo un congruo periodo di esperienza seguito da un nuovo round di revisioni ed elaborazioni critiche (così come è accaduto storicamente per le tradizionali elaborazioni ingegneristiche, incorporate nei Regolamenti solo dopo un processo di *selezione naturale* attraverso estese esperienze di varie formulazioni che hanno permesso di verificarne comparativamente l'efficacia e di standardizzarne le procedure –per le varie tipologie strutturali- in modo che ne fosse garantita la validità più generale possibile ed al tempo stesso la realistica applicabilità da parte dei proponenti del nuovo sbarramento).

### 3. CONCETTI E PRINCIPI FONDAMENTALI DELL'ANALISI DI RISCHIO

#### 3.1 DEFINIZIONE DI ANALISI DEL RISCHIO E DI GESTIONE DEL RISCHIO

Col termine analisi di rischio (*risk analysis*) si intende in ambito tecnico un'analisi probabilistica svolta grazie ad un complesso di metodologie di valutazione e di calcolo, con la quale si tende a stimare quantitativamente le possibilità di danno, in conseguenza dell'accadimento di eventi sfavorevoli, al tessuto socio-economico di una determinata zona di influenza degli eventi stessi. In particolare interessa, nell'ambito del gruppo di lavoro C2, esaminare criticamente le possibilità di applicare tali metodologie alla stima della probabilità di danno da collasso (o da incidente grave, inclusa ad esempio la tracimazione o il superamento della capacità degli organi di scarico) di manufatti artificiali di sbarramento, ossia delle dighe di ritenuta.

Gli strumenti di analisi in questione si inseriscono di fatto nel più vasto campo della valutazione del rischio (*risk assessment*) che idealmente dovrebbe includere tutti i rischi cui sono soggette le infrastrutture e le opere (civili, industriali...) di un certo territorio. In tal senso, e con le limitazioni che si vedranno, gli strumenti in parola costituiscono discipline tecniche e mezzi operativi a disposizione degli organi tecnici e delle autorità di controllo preposti alla gestione del rischio (*risk management*), intesa sia come previsione, valutazione e prevenzione degli eventi dannosi che come mitigazione delle conseguenze di un loro eventuale verificarsi sul tessuto socio-economico del territorio.

E' evidente, pertanto, che tutto ciò si interfaccia da una parte con le aspettative –anche emotivo/psicologiche- della collettività, dall'altra con una razionale programmazione ed attuazione di una gestione integrata delle risorse e dei vincoli territoriali, mirata ad uno sviluppo sostenibile.

Quanto al primo tipo di interazione, è facile constatare che esistono, o possono sorgere, più o meno palesi fraintendimenti, e non di rado conflitti, tra la percezione e la valutazione che del concetto di rischio ha l'opinione pubblica ed il punto di vista del tecnico specialista. Un terzo punto di vista, in genere diverso sia dal primo che dal secondo, è poi quello degli organi amministrativi e di controllo; un quarto, ed ulteriormente distinto, punto di vista potrebbe essere quello degli eventuali assicuratori del danno. La comunicazione dialettica tra tutti questi punti di vista è resa in effetti difficile, e non di rado ambigua, dal diverso contenuto semantico che le parti in gioco attribuiscono implicitamente agli stessi termini linguistici usati<sup>10</sup>.

Vale la pena di spendere qualche parola in più sull'impatto che il termine *rischio* ha sull'opinione pubblica. Tale termine evoca infatti non una valutazione razionale, ma piuttosto reazioni emotive di timore e diffidenza, tanto che sinora si era preferito parlare, anziché di *gestione del rischio*, di *garanzia della sicurezza*, intesa dai più nel senso che si debba evitare ogni pericolo. Questa pretesa è evidentemente irrealizzabile, ed oltre tutto viene tranquillamente messa in *non cale* nella pratica individuale quotidiana, in cui si affrontano situazioni (come ad es. l'uso dell'automobile privata) che comportano insicurezze notevoli.

---

<sup>10</sup> In particolare il termine *rischio* è generalmente usato negli ambienti non tecnici in una accezione affine, quando non coincidente, talvolta con quella del generico termine *pericolo*, talora con quella del termine *probabilità*, mentre nell'ambiente specialistico si è convenuto, come detto nella PREMessa, di attribuirgli il preciso significato di *costo probabilistico* (o *costo atteso*) dell'evento sfavorevole, ossia di **prodotto della probabilità dell'evento dannoso per il valore monetario del danno causato dal prodursi dell'evento**. Vale la pena di osservare sin d'ora –in vista del successivo esame critico- che in questa definizione si attribuisce implicitamente (anche negli eventuali riflessi assicurativi...) alla *probabilità* da stimare, che compare come primo fattore del *rischio*, un significato assimilabile a quello di una *frequenza statistica di accadimento* dell'evento in una estesa popolazione di soggetti omogenei esposti ad azioni anch'esse statisticamente omogenee.

E' opportuno notare a questo proposito la diversità di atteggiamento dell'opinione *media* nei riguardi delle catastrofi naturali (terremoti, inondazioni...) da un lato, dei disastri industriali dall'altro. Le catastrofi naturali sono considerate con una certa rassegnazione come eventi inevitabili (*acts of God*), e dalle Autorità pubbliche ci si attende, in relazione ad esse, non molto di più che una pronta ed efficace azione di mitigazione delle loro conseguenze; i disastri industriali (*man-made*) vengono percepiti molto spesso come eventi colposi attribuibili a negligenza, errore tecnico o spregio delle regole da parte di colpevoli di cui immediatamente si inizia la ricerca, e dalle Autorità di controllo e tutela ci si attende sia una loro efficace prevenzione, sia l'individuazione e la punizione dei responsabili una volta avvenuto l'evento.

Sono stati compiuti negli ultimi anni interessanti studi sui *rischi socialmente accettabili* (*Socially Acceptable Risks, SAR*) tendenti a mettere in relazione le probabilità *accettabili* di accadimento di un evento dannoso con l'entità del danno provocato dall'evento (danno espresso quantitativamente anche in termini del numero di vittime umane, per le quali non esistono ad oggi criteri accettati di monetizzazione dell'unità di misura, cosicché il costo dell'evento resta espresso non monetariamente dal numero in questione). Evidentemente la probabilità *socialmente accettabile* non solo decresce al crescere del costo dell'evento, ma anche dipende dalla *qualità* di esso: così per gli incidenti agli impianti nucleari si esige che la probabilità di incidente sia estremamente bassa. Inoltre i rischi che vengono percepiti come incorsi volontariamente (ad es. l'uso dell'automobile privata) vengono considerati, a parità di conseguenze per l'individuo coinvolto, molto più accettabili di quelli percepiti come imposti da terzi, anche se questi ultimi sono connessi a servizi di pubblica utilità cui nessuno vorrebbe rinunciare, come nel caso delle dighe la fornitura garantita di acqua potabile o di energia elettrica nel momento stesso della richiesta. A ciò si aggiunge una accentuata sensibilità ai temi di conservazione ambientale, acuitasi negli ultimi anni grazie a non sempre obiettive campagne mediatiche; così i rischi associati alle dighe vengono percepiti in misura non equilibrata rispetto a quelli causati da altri impianti industriali mediamente altrettanto -e spesso più- pericolosi (gasometri, depositi di materiali esplosivi od inquinanti, aeroporti...).

### 3.2 BREVE ESAME CRITICO DELLE METODOLOGIE DI ANALISI DEL RISCHIO

Entro lo sfondo socio-culturale tratteggiato nel paragrafo precedente si colloca e deve confrontarsi l'attività specialistica dell'analisi del rischio, di cui passeremo tra breve a considerare criticamente lo stato dell'arte. Si tratta, è bene dirlo subito, di un complesso di tecniche almeno in parte ancora in divenire, in quanto non sufficientemente complete e mature, almeno per le applicazioni che qui interessano.

Il quadro concettuale e formale che fa da supporto a queste tecniche è in generale quello dell'analisi di affidabilità (*reliability analysis*), e nel caso particolare del rischio strutturale il prodotto finale dell'analisi in questione è costituito dalla valutazione numerica della cosiddetta *probabilità di rottura* (o di *collasso*, o di *incidente* a seconda dei casi). Benché questo quadro teorico sia stato notevolmente sviluppato nella sua formulazione generale e nei suoi strumenti analitici, la sua applicazione all'analisi di rischio strutturale delle dighe è ad oggi alquanto lontana dall'aver raggiunto una completezza soddisfacente. Infatti non solo è tuttora difficile tener conto di alcuni fattori certamente rilevanti, il modello di base essendo di solito fortemente schematizzato rispetto tanto alla realtà quanto ai classici modelli di tipo *deterministico* (v. NOTA al termine di questa INTRODUZIONE), ma in più il mondo statistico a cui si fa implicito riferimento è un'ibrida costruzione astratta la cui rilevanza rispetto all'oggetto reale è di difficile interpretazione, come si cercherà di illustrare in seguito. In conseguenza di ciò la *probabilità di rottura* che si ottiene al termine dell'analisi non può essere senz'altro interpretata come se fosse omogenea con una *frequenza statistica di accadimento* (come invece spesso si tende a fare e come

implicitamente assunto nel calcolo del rischio, v. nota 9 a piè di pagina 7), ma piuttosto come un indice convenzionale utile più che altro (v.oltre) a scopi comparativi.

Infatti –tralasciando i dettagli tecnici e schematizzando all'estremo- l'analisi di affidabilità di una struttura esistente tende a tener conto, in contrasto con una classica analisi deterministica, delle incertezze nelle conoscenze relative tanto alle circostanze ed alle azioni esterne, quanto alle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti la struttura (includendo tra questi non solo i materiali prodotti artificialmente, ma anche i materiali naturali delle fondazioni). Mentre per quanto concerne i carichi (ad es. quelli sismici) si può disporre di dati statistici attendibili ed esprimibili in termini di distribuzioni di densità di probabilità *a priori*, per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche dei materiali (oltretutto variabili spazialmente) le distribuzioni di densità di probabilità che si è costretti ad ipotizzare rappresentano incertezze nelle conoscenze relative ad una obiettiva realtà di fatto esistente; in quanto tali, esse hanno il carattere di probabilità *Bayesiane* o *a posteriori*. A rigore quindi la *probabilità di rottura* che si ottiene al termine dell'analisi non è omogenea con una frequenza fisica di accadimento, ma può essere interpretata –a parte le approssimazioni introdotte spesso anche in base a criteri più soggettivi che oggettivi per insufficienza dei dati sperimentali disponibili- nell'uno o nell'altro dei due significati seguenti, entrambi piuttosto astratti:

- a) come “probabilità di essere in errore giudicando la struttura sicura in base alle informazioni disponibili”, probabilità che risulta diversa da zero per l'incertezza delle conoscenze (v. Figura a pag. 15), oppure
- b) come *probabilità di rottura* di una struttura ideale estratta a sorte da un universo virtuale di numerose strutture, omogenee a quella considerata, le cui proprietà e carichi siano variabili statisticamente come descritto dalle distribuzioni di densità di probabilità assunte nell'analisi di affidabilità.

Quindi il legame dell'indice così ricavato con la *sicurezza* della particolare struttura reale sotto esame non è così diretto come l'uso irriflesso del termine *probabilità di rottura* potrebbe indurre a pensare (per fare un paragone intuitivo pur se non rigoroso, è come se volessimo assicurare un singolo individuo, e non un numero rilevante di persone fisiche costituenti un campione rappresentativo della popolazione cui si riferiscono le tabelle attuariali, valutando sulla base di tali tabelle le probabilità di sopravvivenza di quell'unico individuo assicurato). Al fine di chiarire ulteriormente questa osservazione critica, si può osservare che l'indice in questione avrebbe un significato del tipo **b)** più concreto solo nel caso, peraltro teorico, della gestione del rischio di un parco dighe sufficientemente numeroso, nel quale le singole opere fossero sufficientemente omogenee quanto a materiali e metodi costruttivi impiegati, azioni esterne, criteri di gestione. In quel caso la probabilità media di rottura, da cui per le ipotesi fatte la probabilità valutata per la singola opera non si discosterebbe significativamente, potrebbe essere effettivamente interpretata come possibile frequenza di accadimento di un evento sfavorevole nell'ambito dell'esercizio di quel parco dighe (ed il rischio della singola opera dipenderebbe allora essenzialmente dall'entità del danno causato al territorio esposto dal crollo di quella particolare diga).

Peraltro una interpretazione del tipo **a)** giustifica un uso pragmatico della *probabilità di rottura* e del rischio da essa derivante (v. nota 9 a piè di pagina 7) in un contesto comparativo tra diverse situazioni, come strumenti operativi atti a sostenere il processo decisionale e l'allocazione prioritaria delle limitate risorse disponibili. In base ad un principio di precauzione, è evidente che tra dighe aventi analoga esposizione monetaria per danni da crollo, ma con indice di *probabilità di rottura* diverso, sarà da dedicare maggior cura a quelle con più alto indice, e che tra dighe con analogo indice ma con diversa esposizione monetaria da danno per crollo saranno da dedicare maggiori risorse a quelle con più alta esposizione; i due casi rispondono ad un criterio unificato usando come

indice appunto il rischio, cioè il prodotto della *probabilità di rottura* per l'esposizione monetaria. Ma ciò non vuol dire che il primo fattore del prodotto, la *probabilità di rottura* calcolata con metodologie affidabilistiche, abbia un significato realistico omogeneo con una frequenza di accadimento, né che con la guida della valutazione quantitativa del rischio si prendano necessariamente decisioni obiettivamente ottimali: si tratta di un caso di decisioni sotto incertezza e quindi anche il risultato delle decisioni prese sarà affetto da incertezza.

Ciò vale a maggior ragione se si pensa che la realizzazione di un invaso mediante creazione di uno sbarramento non determina solo una diversa distribuzione della probabilità degli eventi potenzialmente forieri di danni, ma anche – con scansioni temporali più o meno lunghe - un sensibile mutamento del valore dei beni potenzialmente a rischio. La costruzione di un invaso può, a seconda dei casi, determinare un aumento o una diminuzione del valore dei terreni e dei fabbricati a valle dell'invaso; può produrre un aumento o una diminuzione del volume, del valore e della natura delle attività economiche; può infine portare ad una crescita o ad un ridimensionamento della popolazione presente nell'area potenzialmente a rischio.

E' evidente dunque che la costruzione di un invaso modifica entrambi i fattori –probabilità dell'evento dannoso e valore monetario del danno- che, moltiplicati tra loro, rappresentano il rischio connesso all'invaso stesso; e ciò non avviene una volta per tutte, ma all'interno di un sistema dinamico e in continua evoluzione.

Alternativamente all'analisi di affidabilità appoggiata a considerazioni di resistenza strutturale a fronte dei possibili carichi si possono usare formulazioni e strumenti di tipo diverso, evitando di rifarsi esplicitamente al concetto sgradito di *probabilità di rottura* che evoca reazioni psicologiche avverse eccessivamente forti ed irrazionali. Ad es. si può parlare di *probabilità condizionate* che un ipotetico cedimento strutturale o un evento sfavorevole di tipo idraulico (dato per già avvenuto a dispetto di una dichiarata *quasi impossibilità* che tale caso si verifichi effettivamente, evitando quindi di doverne definire la *probabilità di evenienza*) sia stato causato dall'una o dall'altra delle possibili cause, identificabili con l'ausilio dell'analisi degli *alberi di evento*. In una analisi di questo tipo si analizzano in dettaglio le catene di eventi che possono, succedendosi e concatenandosi tra di loro, condurre al cedimento o all'evento idraulico avverso, cercando di definire per ogni ramo dell'albero di eventi che risulta disegnato dall'analisi la relativa probabilità di accadimento. In tal modo si possono idealmente assegnare i *pesi* da attribuire a ciascuna delle potenziali cause nella generazione dell'evento, aprendo la possibilità di scegliere le attività preventive<sup>11</sup> e di assegnare correttamente le priorità di intervento.

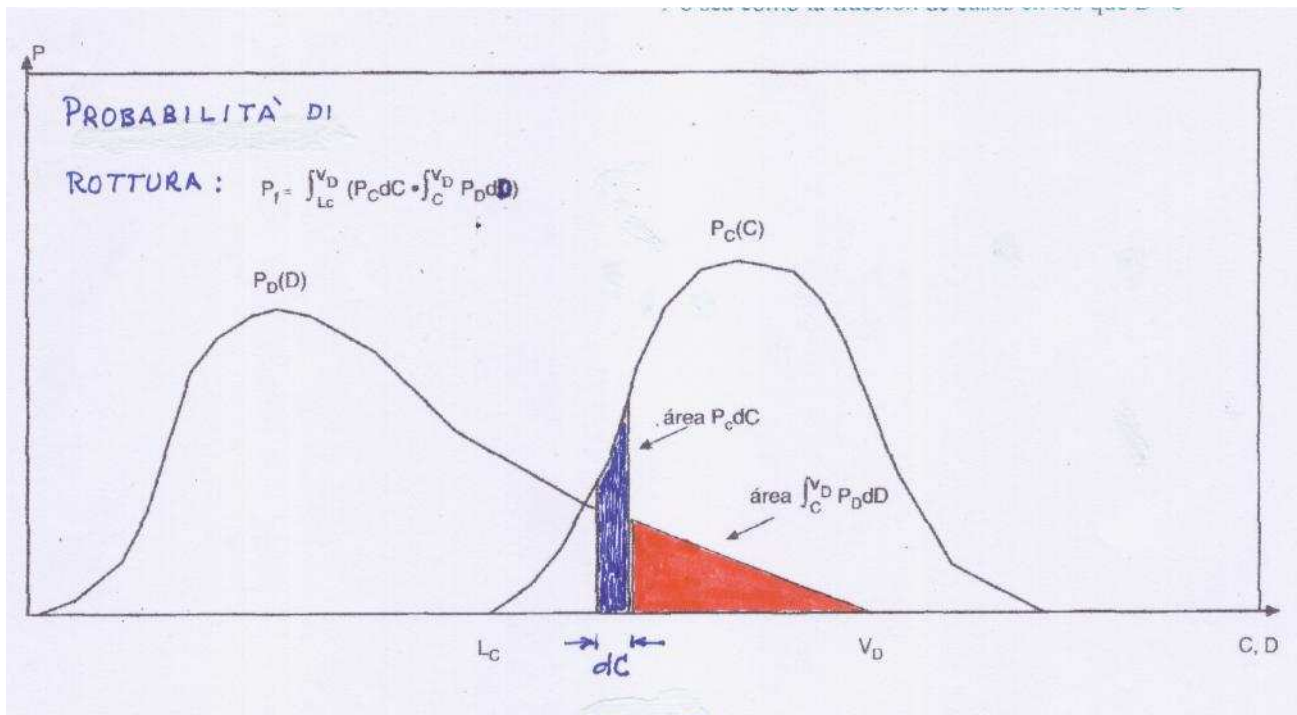
Riassumendo, dovrebbe risultare chiaro da quanto esposto che l'uso del termine *probabilità* riferito alla *probabilità di rottura* (determinata con metodi probabilistico-affidabilistici) o di *evento sfavorevole* riferito ad una particolare struttura di ritenuta esistente è non solo artificioso, ma può condurre facilmente a malintesi tra i diversi ambienti coinvolti nella scelta delle strategie operative; ad es. risulterebbe concettualmente non corretto basare su tale probabilità il piano assicurativo di una particolare diga (mentre potrebbe essere corretto, a parte le imprecisioni dei modelli e del metodo per cui i valori calcolati non sono comunque da prendersi in senso assoluto ma solo relativo, basare su tali dati un piano assicurativo per un parco dighe numerosi ed omogeneo, v. sopra).

---

<sup>11</sup> Attività di prevenzione delle evoluzioni pericolose nello stato dell'opera (attraverso il monitoraggio), di previsione delle aree inondabili, di allestimento dei piani di emergenza (*contingency plans*), ecc.



## OSSERVAZIONE



C= capacità di resistenza, distr. di probabilità  $p_C$  ; D=resistenza richiesta, distr. di probabilità  $p_D$

Probabilità di rottura:  $P_r = \int_{L_C}^{V_D} \left( p_C \cdot \int_C^{V_D} p_D \cdot dD \right) \cdot dC$  . Questa probabilità è a rigore la probabilità che una

struttura presa a caso in una popolazione omogenea per la quale la distribuzione delle resistenze sia  $p_C$  (nota), e sottoposta ad un carico preso a caso da una popolazione omogenea la cui distribuzione delle intensità sia  $p_D$  (nota), si rompa; è evidente la differenza concettuale rispetto alla 'probabilità' che si calcola nell'impostazione 'affidabilistica'. Infatti in quest'ultima la curva  $p_C$  rappresenta l'incertezza dovuta alla nostra ignoranza della reale resistenza –che in realtà è unica e ben definita, diciamo  $C_0$ - di un'unica struttura che viene sottoposta a un carico preso a caso (nella popolazione omogenea di distribuzione delle intensità  $p_D$ ); allora la probabilità che l'esito della prova sia la rottura è semplicemente  $\int_{C_0}^{V_D} p_D \cdot dD$  , che non

sappiamo calcolare perché ignoriamo il valore del limite inferiore  $C_0$ , ma in generale è diversa da

$P_r = \int_{L_C}^{V_D} \left( p_C \cdot \int_C^{V_D} p_D \cdot dD \right) \cdot dC$  ; e quest'ultimo valore non può quindi essere preso come stima 'unbiased' del

valore reale  $\int_{C_0}^{V_D} p_D \cdot dD$  . Esso rappresenta invece **"la probabilità di sbagliare ritenendo, sulla base della**

**distribuzione assunta  $p_C$  , che la struttura resista ad un carico preso a caso dalla popolazione di distribuzione  $p_D$  "**. La differenza può apparire sottile, ma è concettualmente importante.

#### **4. ESAME DEI SETTORI NEI QUALI L'ANALISI DI RISCHIO RAPPRESENTA UNA TECNOLOGIA MATURA: IL CONTESTO EUROPEO**

Il progresso tecnologico è diretto al soddisfacimento dei bisogni umani per lo sviluppo e il miglioramento della qualità della vita. Allo stesso tempo, il danno o i rischi che derivano da specifiche tecnologie non possono essere evitati. Nel contesto internazionale, ed in quello europeo in particolare, l'impatto del potenziale rischio sulla salute pubblica, sull'ambiente e sull'economia della tecnologia è perciò un argomento di notevole discussione sia a livello pubblico sia professionale. Esempi di eventi che hanno avuto un drammatico impatto sulla vita dei cittadini sono quelli ben noti di Seveso, Bhopal, Chernobyl, il tunnel del Monte Bianco, l'incidente ferroviario di Eschede, per citarne alcuni.

Tutti i diversi tipi di rischio devono essere analizzati, valutati e gestiti in modo sistematico per proteggere la salute e la sicurezza pubblica e per limitare l'impatto ambientale ed economico di potenziali incidenti.

Tuttavia, l'impatto del rischio tecnologico non dovrebbe essere giudicato senza tenere conto dei benefici sociali. Il bilanciamento di rischi e benefici è fondamentale in qualunque processo decisionale. Inoltre, le risorse da spendere per ridurre i rischi di individui e società possono variare fortemente a seconda della tipologia delle tecnologie. Poiché le risorse sono limitate, la loro allocazione ottimale è essenziale. I metodi basati sull'analisi del rischio forniscono misure di tipo qualitativo e quantitativo che possono supportare in modo significativo i processi decisionali e l'avanzamento della comprensione dei problemi da parte della pubblica opinione.

I rischi tecnologici sono trattati diversamente in differenti contesti applicativi (industrie) e in differenti circostanze (regimi regolatori). I decisori si devono perciò confrontare con una varietà di approcci, metodologie e condizioni per valutare rischi specifici, un fatto che rende particolarmente complesso il confronto degli studi di rischio condotti da differenti analisti o utilizzatori. La non uniformità dei metodi, della tipologia dei dati, e delle applicazioni hanno considerevolmente ostacolato la diffusione dell'uso dell'analisi di rischio nei processi decisionali.

Un'assunzione di base è costituita dalla convinzione che l'analisi di rischio sarebbe grandemente facilitata da una normativa di carattere generale accettata a livello internazionale nell'ambito dei processi decisionali. La necessità di una linea guida e di un approccio uniforme su questo argomento è stato ampiamente riconosciuto. Diverse nazioni e organizzazioni internazionali di normative stanno sviluppando norme da applicare nei vari settori specialistici quali quello medico, offshore, meccanico, ecc. Tuttavia, queste norme sono molto spesso orientate al settore industriale specifico e adottano frequentemente definizioni, modelli e approcci nell'analisi di rischio di tipo differente.

Al momento non esistono normative di tipo generale che siano ampiamente accettate nei differenti paesi e nei diversi contesti industriali.

Nei paragrafi che seguono si riportano sinteticamente alcune osservazioni sullo stato dell'analisi di rischio a livello internazionale in vari settori industriali

##### *A) Industrie chimiche di processo*

Nella UE il miglioramento della sicurezza nel settore chimico è rappresentata dalla Direttiva Seveso che richiede formalmente l'esecuzione di un'analisi di rischio come parte integrante del rapporto di sicurezza. Nella trasposizione della Direttiva nelle norme nazionali, gli Stati Membri hanno la libertà di adottare misure specifiche anche di tipo più restrittivo di quanto richiesto dalla Direttiva. La Direttiva Seveso stabilisce che le prescrizioni stabilite dalla norma devono essere proporzionate al rischio potenziale

associato alla presenza dello specifico impianto. Gli Stati Membri sono liberi di giudicare come questo risultato possa essere praticamente assicurato in termini quantitativi, qualitativi o semi-quantitativi.

A livello nazionale, in Olanda l'analisi di rischio di tipo probabilistico è richiesta come parte integrante del rapporto di sicurezza ed è, inoltre, chiaramente definita una politica sul livello massimo di rischio accettabile in relazione all'uso del territorio. Nel Regno Unito l'approccio probabilistico è favorito, ma finora i criteri per condurre analisi di rischio di tipo quantitativo riguardano solo il controllo sull'uso del territorio in prossimità dei siti industriali. In Germania si adottano estensivamente approcci di tipo deterministico per dimostrare la qualità delle misure adottate per la riduzione del rischio all'interno degli impianti e verso l'esterno.

#### *B) Trattamento e stoccaggio di materiali pericolosi (non radioattivi)*

L'uso dell'analisi di rischio in questo settore è collegato alle modalità seguite per il trattamento dei rifiuti. In generale l'analisi di rischio può essere condotta secondo i seguenti passi: a) descrizione dell'impianto; b) sostanze da trattare e processi; c) identificazione dei rischi; d) analisi dei possibili modi di incidente; e) valutazione delle conseguenze; f) stima dei rischi; g) analisi del rischio.

La principale differenza rispetto ad altri processi industriali riguarda la corretta caratterizzazione delle sostanze trattate che in genere non sono completamente note e possono variare addirittura giorno per giorno. Evidentemente questo aspetto influisce sulla identificazione del rischio e sulla valutazione delle possibili conseguenze.

I metodi di analisi di rischio in questo settore, nonostante le iniziative di numerose agenzie ambientali, sono ancora molto limitati e il loro uso non è richiesto a livello normativo.

#### *C) Stoccaggio di materiali radioattivi*

"Probabilistic Performance Assessment (PPA)" è il nome dato all'applicazione dei metodi di analisi di rischio in questo settore che trovano negli USA una significativa applicazione per i depositi di stoccaggio di materiale ad alto livello radioattivo. L'esempio più importante riguarda il deposito di Yucca Mountains. I passi principali dell'approccio sono: a) sviluppo e selezione dei possibili scenari; b) sviluppo di modelli; c) stima della variabilità dei parametri e delle incertezze associate; d) esecuzione delle analisi; e) interpretazione dei risultati.

L'uso dei metodi basati sull'analisi di rischio per le scorie nucleari è, comunque, limitato alle esperienze USA e a pochi esempi condotti in altri paesi. In generale l'approccio rimane di tipo deterministico, basato su studi di natura idrogeologica. Assegnare probabilità di accadimento ad eventi che possono svilupparsi in tempi molto lunghi (dell'ordine di secoli o più) appare estremamente complesso.

#### *D) Industria di generazione elettro-nucleare*

In questo settore industriale le metodologie di analisi di rischio sono ampiamente utilizzate a partire dalle attività pionieristiche note come Reactor Safety Studies. Linee guida e procedure sono disponibili a livello nazionale e internazionale (IAEA).

L'analisi probabilistica trova particolare applicazione nello studio della frequenza di danneggiamento del nocciolo (level-1 PRA/PSA). In genere, le normative sono basate su criteri deterministici, anche se la PRA/PSA è divenuta ormai parte integrante dei processi autorizzativi sia per nuove realizzazioni, sia per il retrofitting di quelli esistenti. Attualmente oltre 200 impianti nucleari nel mondo adottano le PRA/PSA e si ritiene che i metodi probabilistici di analisi del rischio possano aumentare in ragione di fattori esterni quali la "deregulation" e l'apertura del mercato elettrico.

#### *E) Grandi strutture, dighe e impianti offshore*

Per quanto riguarda le grandi strutture (ponti, edifici, ecc.), l'attuale normativa basata su criteri semi-probabilistici (che fanno riferimento alla perdita di funzionalità e alla probabilità di collasso strutturale) è da ritenersi come una buona situazione di partenza. Approcci basati su analisi pienamente di tipo probabilistico sono in evoluzione, tuttavia è probabile che richiederanno tempi piuttosto lunghi per essere impiegati.

Per quanto riguarda le dighe, se ne riconosce il carattere di strutture ad elevata affidabilità in confronto con altre opere realizzate dall'uomo. Un'efficace gestione della sicurezza delle dighe necessita di un approccio di tipo continuativo, partendo dai criteri che guidano il progetto, alla realizzazione e all'esercizio. La sorveglianza e il monitoraggio costituiscono elementi essenziali dell'approccio. Al momento, l'analisi di tipo probabilistico non è adottata essenzialmente per la difficoltà di reperimento dei dati. L'analisi di rischio per le dighe, quando viene condotta, riveste, quindi, un carattere di tipo essenzialmente qualitativo. D'altro canto, a livello normativo non vi sono prescrizioni che impongano l'adozione di metodologie di analisi di rischio. Occorre mettere in evidenza l'importante ruolo rivestito dalla gestione delle condizioni di emergenza le cui responsabilità sono, in genere, definite a livello di permessi per l'esercizio delle opere. Per quanto riguarda l'informazione al pubblico, occorre osservare come, in generale, le informazioni verso l'opinione pubblica sulle aree potenzialmente allagabili a valle delle dighe sono piuttosto limitate.

Per le installazioni offshore, la valutazione del rischio prevede l'uso sistematico delle informazioni disponibili ed è parte essenziale della gestione della sicurezza e del controllo del rischio. Sono in genere adottati criteri di accettabilità del rischio di tipo quantitativo. Al momento, l'industria offshore si può ritenere all'avanguardia nell'applicazione dei processi decisionali basati sull'analisi di rischio per le piattaforme in mare.

#### *F) Sistemi di trasporto aereo e aerospaziale*

Questo settore è caratterizzato da pluri-decennali sforzi di armonizzazione delle normative a livello internazionale. Viene, tuttavia, riconosciuta la necessità di estendere gli aspetti normativi ad aree non sufficientemente coperte quali le aerostazioni (attacchi terroristici degli ultimi anni hanno mostrato la vulnerabilità del sistema proprio a livello di aerostazione; anche l'incidente di Linate, per altri versi, conferma questo aspetto). Per quanto riguarda l'uso dell'analisi di rischio a supporto dei processi decisionali in un settore come questo caratterizzato da alto livello tecnologico e da utilizzo estremamente intensivo di software, si riconosce la necessità di sviluppare linee guida che definiscano in una norma i passi procedurali dell'analisi di rischio, lasciando eventualmente meno definite le modalità di attuazione di ciascun passo per evitare eccessive rigidità.

#### *G) Sistemi di trasporto stradale e ferroviario*

A livello nazionale solo alcuni paesi hanno intrapreso la scelta di fare riferimento ad approcci decisionali basati sull'analisi di rischio (Regno Unito, Olanda, Svizzera). Dal punto di vista dell'armonizzazione delle norme, esiste un ragionevole accordo su dati e terminologie nel settore stradale, mentre vi sono ancora notevoli differenze nel settore ferroviario. Piani di sicurezza indirizzati all'analisi delle cause di incidente e a fornire specifici standard di sicurezza stanno diventando, comunque, una caratteristica comune in entrambi i settori. D'altro canto questo aspetto è essenziale in quanto non appare accettabile che in un'Europa caratterizzata da notevole movimento di pubblico da un Paese all'altro (per ragioni di lavoro o svago) si abbiano cambiamenti sostanziali nei livelli di rischio.

#### H) *Settore alimentare e farmaceutico*

Una delle caratteristiche peculiari di questi settori industriali è costituito dal rapporto stretto tra il recettore del rischio (consumatore ) e la sorgente di rischio (alimento/medicinale). L'analisi di rischio è eseguita ampiamente a livello qualitativo, in termini di identificazione della pericolosità, sulla base di procedure standardizzate già da diverso tempo. Le norme sono essenzialmente indirizzate al controllo di qualità del prodotto da parte del paese esportatore e a livello di valutazione del livello di rischio tollerabile da parte del paese importatore.

La UE ha promosso nel 2000, attraverso il Joint Research Centre di Ispra, la realizzazione di un seminario di respiro internazionale per discutere in particolare sulla opportunità e/possibilità di operare una armonizzazione delle procedure e delle normative che i vari paesi, nei diversi settori, adottano con riferimento all'analisi di rischio. Alcune conclusioni generali del workshop sono qui di seguito riportate.

I processi decisionali basati sull'analisi di rischio possono essere suddivisi in modo relativamente semplice in alcuni passi formali essenziali quali: identificazione/caratterizzazione, analisi, valutazione, gestione, processo decisionale, una sequenza che – sebbene vi siano differenze di tipo terminologico – può essere ampiamente accettata nei settori industriali almeno in linea di principio.

Tuttavia, ciascun passo nell'analisi di rischio è fortemente dipendente dallo specifico contesto culturale e normativo. Per rendere i risultati ampiamente accettati, tale tipologia di analisi necessita di essere contestualizzata nello specifico ambiente socio-culturale e di essere inserita in un processo partecipativo in cui tutti gli *stakeholders* siano coinvolti fin dall'inizio nelle fasi di caratterizzazione e valutazione dei rischi piuttosto che nella fase di presentazione della soluzione finale. Le moderne tecnologie, quali Internet, possono fortemente favorire la partecipazione della pubblica opinione nel processo decisionale secondo modalità impensabili finora.

E' opinione diffusa a livello internazionale che l'analisi di rischio di tipo comparativo condotta secondo procedure armonizzate potrebbe aiutare in modo significativo la comprensione dei processi decisionali condotti in differenti paesi e in differenti settori e potrebbe promuovere la trasparenza dei processi decisionali in cui gli *stakeholders* siano coinvolti.

Un aspetto di particolare rilevanza è rivestito dal concetto di percezione del rischio che ha un proprio ruolo nel dibattito politico riguardante il livello di accettabilità di alcuni rischi. Poiché l'accettazione del rischio e il giudizio sulle attività che impattano sulla salute pubblica e l'ambiente sono argomenti fortemente dipendenti dal contesto, l'uso di criteri di accettabilità dipendono fortemente dal paese, dalla fase storica, dal tipo di attività, dal livello di rischio e dai relativi benefici.

Il principale obiettivo di ogni sforzo di standardizzazione dovrebbe essere quello di aiutare gli *stakeholders* a vedere più chiaramente le diverse opzioni disponibili e a supportarli nel prendere decisioni che solo loro possono assumere.

La conclusione a cui il workshop è pervenuto è che la stesura di una norma prescrittiva non è realistica e neppure auspicabile se riferita alla possibilità che possa essere ampiamente accettata e adottata; piuttosto, sarebbe auspicabile la predisposizione di uno schema ("template") che possa:

- indicare, in modo generale, i passi tecnici da seguire nel processo di analisi di rischio
- elencare gli approcci e le metodologie disponibili precisando cosa si intenda con certi termini in certi specifici contesti di analisi di rischio

- lasciare a decisioni nazionali (o sovranazionali, se ci sono le condizioni) la definizione di rischio tollerabile o accettabile, in quanto dipendente dal contesto socio-culturale-economico specifico
- prevedere l'armonizzazione con le normative esistenti emesse da CEN/ISO/IEC oltre a quelle dei settori industriali.

## 5. APPLICAZIONE DELLE ANALISI DI RISCHIO NEL SETTORE DELLE DIGHE

### 5.1 IL CONTESTO INTERNAZIONALE

In questo capitolo si riportano le esperienze condotte nel campo dell'Analisi di Rischio presso il US Bureau of Reclamation che costituisce uno dei punti di riferimento di carattere internazionale di maggiore rilievo nel settore delle dighe.

US Bureau of Reclamation (USBR) è responsabile di oltre 350 dighe costruite negli ultimi 100 anni in 17 stati della zona occidentale degli USA. La maggior parte di esse non fu progettata, né costruita secondo gli attuali standard di sicurezza, né tantomeno tenendo conto degli attuali rischi ambientali. Per questa ragione USBR deve confrontarsi continuamente con una sequenza decisionale legata all'esercizio in sicurezza di tali strutture. Questo processo richiede la valutazione e il conseguimento di obiettivi multipli, quali: la sicurezza pubblica; i benefici per la comunità derivanti da investimenti aggiuntivi; la protezione delle risorse; le ricadute socio-economiche. A tale fine è necessario raccogliere, valutare, classificare e gestire un'enorme mole di informazioni, il che ha indotto USBR ad usare le tecniche di analisi di rischio per la gestione del processo decisionale legato alla sicurezza delle dighe [D1÷D4]. In particolare l'analisi di rischio (*risk analysis*) e la valutazione di rischio (*risk assessment*) rappresentano due fasi distinte del processo.

Risk Analysis

Quantificazione oggettiva e consistente del rischio, espresso come:

$$RISCHIO = \left( \begin{array}{c} \text{PROBABILITÀ} \\ \text{DEL} \\ \text{CARICO} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{PROBABILITÀ} \\ \text{DI RISPOSTA} \\ \text{AVVERSA, DATO} \\ \text{IL CARICO} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{CONSEGUENZE,} \\ \text{DATA LA RISPOSTA} \\ \text{AVVERSA} \end{array} \right) \quad (1)$$

USBR adotta due categorie di "risk analysis": la prima è un'analisi di rischio di base (*baseline risk analysis*) che determina il rischio rappresentato dalle strutture esistenti, nelle condizioni di esercizio e monitoraggio esistenti; la seconda è un'analisi di riduzione del rischio (*risk reduction analysis*) che si attiva qualora il rischio calcolato con l'analisi precedente sia ritenuto inaccettabile e che determina la riduzione potenziale del rischio a fronte di scenari alternativi di riduzione del rischio applicabili al sito in esame.

La *baseline risk analysis* è a sua volta suddivisa in tre categorie:

- *Portfolio Risk Analysis*: si assegna un punteggio alla diga sulla base delle condizioni statiche, idrologiche, sismiche, di esercizio, manutenzione, ecc. A punteggi maggiori corrispondono maggiori potenziali di rottura e/o degrado strutturale. Tale punteggio viene quindi moltiplicato, in accordo con la (1), per un fattore che stima la popolazione a rischio sulla base della velocità di sviluppo della breccia, dei sistemi di allerta, dei piani di emergenza, del potenziale di evacuazione del serbatoio e dell'intensità della piena attesa, fornendo così un primo indice di rischio. A questo si associa un indice di rischio "socio-economico", che tiene conto degli eventuali danni a beni e infrastrutture a valle. Tali indici consentono in questo modo di classificare con un impegno relativamente contenuto (mediamente la classificazione di una diga richiede circa un giorno lavorativo) un grande numero di dighe. (Tempo richiesto: ~ 5 ore)
- *Comprehensive Facility Review*: ogni 6 anni un team interno revisiona, sulla base del comportamento osservato, delle modifiche dello stato dell'arte, dei fattori rilevanti

interventivi nel frattempo e di tutte le informazioni disponibili al momento, il profilo di rischio di ogni diga. I risultati sono documentati secondo le guidelines [D4] e concorrono a definire il profilo di rischio aggiornato per la diga in esame. In esso sono descritte le condizioni di carico, i modi di rottura, e le conseguenze per tutte le classi di carico (statica, idrologica e sismica). In questa fase le probabilità di risposta e le relative incertezze non vengono calcolate accuratamente secondo un albero di eventi, ma vengono valutate in modo semplificato sulla base dell'esperienza dei componenti del team. I risultati di questa analisi sono generalmente utilizzati per definire le priorità per i futuri interventi di messa in sicurezza delle opere. (Tempo richiesto: ~ 1-2 giorni)

- *Project Team Risk Analysis*: è l'analisi più dettagliata e si effettua quando sia ritenuta necessaria, sulla base delle condizioni di rischio valutate con le analisi precedenti e sulla base di fattori specifici che possano compromettere la sicurezza dell'opera. Allo scopo viene costituito un team multidisciplinare di tecnici ed esperti che stima il rischio secondo la metodologia [D3]. Questo livello di analisi comporta la definizione di alberi di evento che descrivono e stimano quanto più accuratamente possibile i modi di rottura, le probabilità dei carichi e delle risposte strutturali, nonché le conseguenze. Le aree di incertezza sono analizzate e descritte mediante intervalli di variazione delle stime di rischio. In questa fase il team può identificare la necessità di acquisire dati aggiuntivi, laddove si ritenga che essi possano migliorare significativamente le stime di rischio con costi accettabili. In dettaglio l'analisi si articola nelle seguenti fasi:
  - *Composizione del team*: formato da personale della sede centrale di Denver e da personale degli uffici periferici e coordinato da un ingegnere senior esperto di risk analysis (facilitatore).
  - *Raccolta dati ed informazioni*: relativi a progetto, costruzione, monitoraggio, studi e analisi precedenti, carichi idrologici e sismici, conseguenze, ecc.
  - *Verifica degli obiettivi*: in particolare il facilitatore assegna i compiti ai membri del team per la stesura del rapporto finale.
  - *Verifica dei componenti dell'impianto*: revisione delle caratteristiche fisiche e funzionali della diga e delle opere accessorie e analisi delle condizioni di esercizio.
  - *Individuazione dei modi di rottura*: si considera modo di rottura potenziale qualsiasi inadeguatezza esistente o difetto originato dalla fondazione, dal progetto e dalla costruzione della diga e delle opere accessorie, dai materiali, dalle condizioni di esercizio e manutenzione e dai processi d'invecchiamento che possono produrre un rilascio incontrollato del serbatoio.
  - *Preparazione degli alberi evento*: sono impiegati per rappresentare le sequenze e le propagazioni degli eventi che possono produrre conseguenze avverse a fronte delle diverse condizioni di carico. Essi sono costruiti con riferimento alla Eq. (1). Mediante essi è possibile identificare i componenti che contribuiscono maggiormente al rischio, valutare gli effetti di eventuali azioni correttive e modifiche nelle assunzioni adottate. Ogni nodo rappresenta un evento o condizione, mentre ogni ramificazione rappresenta una possibile conseguenza all'evento o un possibile stato relativo alla condizione. L'insieme delle ramificazioni uscenti da un nodo rappresenta il set "mutuamente esclusivo" e "collettivamente esaustivo" di conseguenze e stati relativi all'evento. L'uso di appropriate "case histories" può aiutare, sia nell'identificazione dei modi di rottura, sia nella loro scomposizione in sequenze di eventi.
  - *Definizione delle soglie di carico e dei relativi incrementi*: siccome gli eventi di piena e gli eventi sismici possono variare d'intensità entro campi molto ampi, è necessario confinare tali variazioni entro limiti ragionevoli all'interno dei quali la



risposta strutturale e/o le conseguenze possano essere significativamente influenzate e contenere il numero degli incrementi di carico al minimo indispensabile. Normalmente il limite inferiore è rappresentato dal livello di carico che non produce alcun danno strutturale o per il quale non si attendono conseguenze avverse, mentre il limite superiore è quello oltre il quale il danno strutturale è pressoché certo. Di solito, salvo che nel frattempo non siano intervenuti fenomeni di degrado, il primo limite è rappresentato dal massimo livello di carico che la diga ha subito nel passato senza riportare alcun danno strutturale o conseguenza avversa, mentre il secondo limite è solitamente rappresentato dalla massima piena probabile (PMF) o dal massimo terremoto credibile (MCE).

- *Stima delle probabilità dei carichi:* i carichi statici che si considerano sono: il carico idrostatico, il carico generato dalle manovre dei componenti della diga e delle opere accessorie, i carichi indotti da frane e movimenti del terreno circostante, i carichi generati da fenomeni idraulici associabili al passaggio di acqua all'interno o nell'intorno della diga (filtrazione, erosione, cavitazione, ecc.). Il fattore più importante nella stima di probabilità dei carichi statici è costituito dal tempo d'esposizione al rischio; pertanto i dati di monitoraggio e d'esercizio sono essenziali allo scopo. Gli eventi di piena significativi per le valutazioni di rischio sono quelli aventi periodo di ritorno tra 10,000 e 100,000 anni: è quindi necessario per stimare le probabilità di occorrenza integrare ed estrapolare i dati idrologici di sito (normalmente disponibili per periodi inferiori a 100 anni) con dati storici regionali e nazionali, mediante l'applicazione ed il confronto di diversi approcci metodologici. Analogamente si procede per le stime di probabilità dei carichi sismici, per i quali i dati e gli studi di pericolosità sismica di sito vanno integrati con i dati storici regionali e nazionali. In pratica si parte dalla caratterizzazione delle sorgenti sismiche e si arriva ad elaborare la curva di pericolosità sismica, che mette in relazione i parametri del moto del terreno con la probabilità annuale d'eccedenza.
- *Stima delle probabilità della risposta strutturale:* rappresenta la fase più complessa e più dispendiosa di tutto il processo, si articola in 6 passi ed è condotta congiuntamente da tutti i membri del team. Il 1° passo consiste nel verificare ed assicurare che ogni membro del team abbia una chiara e condivisa conoscenza del nodo in esame. Il 2° passo consiste nel mettere in evidenza fattori ed informazioni aggiuntive che possono avere una rilevanza nella descrizione del nodo e nella stima delle probabilità. Nel 3° passo ogni membro del team fornisce la propria stima di probabilità, eventualmente integrata con dati statistici, per il nodo in esame. In questo modo il facilitatore potrà disporre di stime "ragionevolmente alte" e "ragionevolmente basse" per ogni singolo nodo. Allo scopo viene utilizzata una tabella che trasforma la descrizione verbale della stima in valore numerico:

<i>Descrizione</i>	<i>Probabilità</i>
Virtualmente certo	0.999
Estremamente probabile	0.995
Molto probabile	0.99
Probabile	0.9
Neutro	0.5
Improbabile	0.1
Molto improbabile	0.01
Estremamente improbabile	0.005
Virtualmente impossibile	< 0.001

Il 4° passo consiste nell'individuazione e nella giustificazione di quei fattori (passo 2) che producono l'impatto maggiore sulla stima fornita al passo precedente. Nel 5° passo il facilitatore si assicura che ogni membro del team abbia raggiunto un consenso sulle stime di probabilità e d'incertezza ricavate. In caso contrario l'analisi procede utilizzando le differenti stime in calcoli separati che verranno quindi documentati e giustificati nel rapporto finale. Infine il 6° passo consiste nella ripetizione dei passi precedenti per tutti i nodi rimanenti.

- *Stima delle conseguenze*: la perdita potenziale di vite umane è la sola conseguenza considerata. Come detto in precedenza tutte le altre conseguenze socio-economiche ed ambientali sono valutate qualitativamente e quantitativamente nella successiva fase di *risk assessment*. Nella stima delle perdite potenziali di vite umane si considerano fattori complessi, quali: tempo di sviluppo della breccia; propagazione delle onde di piena; valutazione delle aree inondate; tempo di allerta; piani di emergenza e di protezione civile, ecc. Anche in questo caso le "case histories" precedenti possono fornire un valido supporto nella valutazione. USBR suddivide le dighe in tre classi in base alla conseguenze: "*Alta pericolosità*", quando la perdita potenziale di vite umane supera le 6 unità; "*Significativa pericolosità*", quando la perdita potenziale di vite è compresa tra 1 e 6 unità; "*Bassa pericolosità*", quando non si prevedono perdite potenziali di vite umane.
- *Analisi dei risultati*: il rischio è calcolato con la (1) per tutti i percorsi possibili degli alberi evento. Sommando tutti i contributi dei vari percorsi si ottiene il rischio totale. Quando i risultati sono considerati accettabili da tutti i membri del team, viene sviluppato un sommario, che consolida i risultati sulla base delle seguenti domande:
  - ◆ Quali sono i modi di rottura che contribuiscono maggiormente al rischi totale?
  - ◆ Quali sono i fattori di incertezza che influenzano maggiormente la stima del rischio?
  - ◆ Quali informazioni si possono acquisire o generare per ridurre l'incertezza?
  - ◆ Quali risultati possono attendersi dalla raccolta delle suddette informazioni?
  - ◆ Come si ripercuotono i suddetti risultati sul rischio?
  - ◆ Quali sono le possibili azioni correttive per la riduzione del rischio?Infine viene elaborato il rapporto finale che fornirà gli input necessari per i successivi processi decisionali. (Tempo richiesto: 1 o più settimane)

La seconda categoria di analisi di rischio (*risk reduction analysis*) è a sua volta articolata in due fasi:

- *Alternative Identification Analysis*: ha come obiettivo l'individuazione di alternative (strutturali e non) che potenzialmente possono ridurre il rischio a livelli accettabili. Questa analisi non è necessariamente estesa ed accurata e si concentra maggiormente su quei componenti che contribuiscono maggiormente al rischio globale.
- *Alternative Evaluation Analysis*: ha come obiettivo di quantificare, in termini di riduzione del rischio, l'impatto delle alternative individuate nella fase precedente. A tale scopo viene utilizzato ed aggiornato l'albero di eventi sviluppato nella *Project Team Risk Analysis*.

A tutt'oggi USBR ha classificato la maggior parte delle sue dighe mediante la "*Baseline Risk Analysis*" (50 % con "*Comprehensive Facility Review*") e intende procedere con la classificazione mediante la "*Project Team Risk Analysis*", al ritmo di 20 dighe all'anno.

## 5.2 LA GESTIONE DEL RISCHIO RESIDUO IN AMBITO NAZIONALE

L'Italia è un paese con elevato numero di sbarramenti dislocati su di un territorio che nel tempo ha assistito ad una intensa antropizzazione con sviluppo di insediamenti civili ed industriali; tale circostanza ha comportato, inevitabilmente, un crescente livello di attenzione alla riduzione del rischio di incidenti.

La riduzione del rischio viene perseguita mediante interventi e misure di prevenzione e mitigazione; la gestione del rischio residuo è effettuata con la predisposizione e l'adozione di piani d'emergenza (cfr. fig. di pag. 27).

Il concetto di piano di emergenza ha subito negli ultimi anni una sostanziale evoluzione.

I piani che fino a qualche anno fa erano soprattutto finalizzati ad organizzare uomini, mezzi e procedure per fronteggiare possibili incidenti sono oggi orientati verso un nuovo approccio filosofico che ha modificato il concetto tipicamente interventistico del soccorso ed attribuito alle diverse Autorità pubbliche e soggetti a vario titolo coinvolti, un ruolo più attivo in merito alla previsione e prevenzione del rischio, nonché all'attuazione delle misure necessarie per mitigarne le conseguenze.

Sin dai primi anni '90, anche sotto la spinta propulsiva della Comunità Europea, sono stati approvati importanti provvedimenti legislativi in materia di sicurezza, non solo nello specifico ambito degli interventi di protezione civile, ma anche in altri contesti di previdenza sociale.

Fondamentale in proposito è stato il contributo della Legge 24 febbraio 1992 n. 225, che ha istituito il Servizio Nazionale di Protezione Civile; tale provvedimento, tuttavia, era già stato anticipato nelle sue linee ispiratrici dal D.P.R. 175/88 (cosiddetto Seveso 1) che, in attuazione della direttiva CEE 82/501 (*rischi di incidenti rilevanti connessi a determinate attività industriali*), rappresentava un primo esempio, in ambito industriale, della nuova politica di programmazione e pianificazione d'emergenza, successivamente fatta propria dalla L. 225/92.

I principali riferimenti normativi in materia di protezione civile con riferimento alla sicurezza dighe sono indicati nella tab.1.

### 5.2.1 Pianificazione di emergenza

La redazione dei piani di emergenza nel nostro sistema normativo è demandata a vari livelli centrali e decentrati dell'Amministrazione Statale (Prefetture, Regioni, Province, Comuni). La distribuzione dei compiti e delle responsabilità sono state sancite dalla L. 225/92 e, in tempi più recenti, riviste dal D.Leg<sup>vo</sup> 112/98, avente come oggetto il trasferimento di funzioni e compiti dallo Stato centrale alle Regioni ed agli Enti locali (in attuazione della Legge 59/97 - legge Bassanini).

La predisposizione di piani di emergenza a livello comunale spetta ai Sindaci quali Autorità di Protezione Civile territoriale; ad essi spetta anche la gestione operativa dell'emergenza che viene coordinata dal Prefetto (*Commissario di governo*) qualora l'evento non sia fronteggiabile con i mezzi e le risorse localmente disponibili. Il Prefetto è anche chiamato insieme alla Provincia a predisporre il piano di emergenza per eventi su scala provinciale ed a curarne l'attuazione sulla base degli scenari di rischio valutati. Per gli eventi che per loro natura o estensione richiedono l'intervento degli Organi centrali dello Stato si provvede con piani di emergenza nazionali definiti dal Dipartimento della Protezione Civile che, all'occorrenza, ne cura l'attuazione sulla base degli scenari di rischio individuati in sede di programmazione nazionale.



I piani di emergenza delle diverse Autorità competenti ai vari livelli sono elaborati secondo linee guida comuni che fanno riferimento al *Metodo Augustus* sviluppato dal Dipartimento della Protezione Civile.

Tale metodo propone una precisa struttura nell'organizzazione dei piani:

[ una parte descrittiva generale che illustra i dati di base del territorio, lo scenario degli eventi attesi, gli indicatori e le corrispondenti risposte del sistema di protezione civile;  
[ i lineamenti della pianificazione ossia gli obiettivi che si debbono conseguire nell'ambito della direzione unitaria dei servizi di emergenza;  
[ il modello di intervento in cui si assegnano le responsabilità nei vari livelli di comando e controllo.

Si fissano cioè competenze, responsabilità ed obiettivi da perseguire attraverso una partecipazione allargata a tutti i soggetti del sistema di protezione civile, non ultima la popolazione che deve essere informata sui rischi del territorio in cui vive ed in merito al comportamento da assumere prima, durante e dopo l'evento calamitoso.

Il nuovo assetto della struttura di protezione civile si articola nei COM (Centri Operativi Misti) e nel CCS (Centro Coordinamento Soccorsi) che prevede una Sala Operativa suddivisa per funzioni di supporto. Ciò consente una rapida risposta in qualsiasi tipo di emergenza ed assegna ogni singola competenza ad un responsabile già individuato in sede di pianificazione.

Il piano di emergenza deve scattare automaticamente all'arrivo della comunicazione di allarme (o di preallarme) su indicazione degli operatori di guardia nelle sale operative: le squadre d'intervento partono per contrastare lo scenario ipoteticamente più gravoso ma anche per monitorare l'incidente e verificare cosa sia successo in realtà.

Il piano di emergenza deve essere infatti sufficientemente flessibile ovvero deve consentire di adeguare gli interventi alla situazione reale che può presentare conseguenze diverse da quelle prospettate in sede di previsione.

L'area d'impatto è differenziata in tre zone distinte a seconda della gravità dell'impatto stesso:

### **Prima zona – Zona di sicuro impatto**

E' limitata alle immediate adiacenze dell'impianto e caratterizzata dalla maggiore gravità dell'impatto (anche mortalità). Tale zona dovrebbe essere interdetta a qualsiasi tipo di insediamento

### **Seconda zona – Zona di danno**

Sono possibili danni, per persone che non intraprendano le corrette misure di autoprotezione e possibili danni per persone maggiormente vulnerabili. L'intervento di protezione principale dovrebbe consistere nella rapida evacuazione

### **Terza zona – Zona di attenzione**

Sono possibili danni, generalmente meno gravi, su soggetti particolarmente vulnerabili o comunque reazioni fisiologiche che possono determinare situazioni di turbamento tali da richiedere provvedimenti di ordine pubblico; le autorità locali dovranno prevedere interventi mirati nei punti di aggregazione e concentrazione della popolazione (scuole, ospedali, ecc.) ed azioni di controllo del traffico.

La rapidità con cui spesso evolvono gli incidenti rendono essenziali misure di autoprotezione tempestive; a tale proposito occorre definire una campagna di informazione sui rischi presenti nell'area e stabilire le modalità di allarme ed i comportamenti da tenere in caso di emergenza.

Quando le attività di protezione civile vengono identificate con il semplice soccorso, prestato alle popolazioni sinistrate per superare la prima fase di emergenza, la comunità colpita rappresenta uno strumento passivo nelle mani dei soccorritori; in realtà molti disastri devono essere affrontati in un tempo drammaticamente limitato. E' dunque indispensabile prevedere l'impegno in prima istanza della stessa comunità colpita.

Le direttive comunitarie in merito ai provvedimenti di autoprotezione raccomandano una strategia di informazione basata su due livelli: un primo livello di tipo generale riferito alle problematiche normalmente attese a seguito di un incidente rilevante (*Technical information*), ed un secondo più puntuale indirizzato al sito specifico ed alle popolazioni locali (*Pragmatic information*).

La raccomandazione fondamentale è quella di utilizzare un linguaggio semplice, tale da essere facilmente compreso e ricordato dal pubblico. L'informazione deve in ogni caso comprendere:

- la fonte di rischio, ovvero la descrizione delle attività esercitate nell'impianto;
- l'incidente rilevante, ovvero l'illustrazione delle sue conseguenze, della loro gravità e delle azioni di mitigazione attuate per ridurre la probabilità di accadimento e gli effetti.
- l'emergenza, ovvero la descrizione dei segnali di allertamento e delle norme di comportamento da adottare in caso di allarme.

E' necessario indirizzare correttamente la comunicazione in funzione delle diverse aree coinvolte nell'evento. I soggetti abilitati all'informazione diretta sono i sindaci ed il Prefetto mentre il Dipartimento della Protezione Civile è incaricato di redigere le linee-guida in merito alle procedure ed alle modalità con cui le predette informazioni dovranno essere diffuse.

Il tema dell'informazione alle popolazioni interessate dal rischio è però quello che nel nostro Paese appare ancora poco sviluppato. Al di là di alcune enunciazioni di principio e, in alcuni casi, di delega e sollecito nei confronti delle amministrazioni locali, le popolazioni interessate da emergenze non sembrano avere un ruolo attivo nella gestione del rischio potenziale.

Non va infine trascurata l'importanza dello svolgimento di periodiche esercitazioni da parte di ciascun ente, in forma singola ed associata, con il coinvolgimento della popolazione interessata. Quanto sopra per tenere alto il livello di coscienza del rischio e di conoscenza delle procedure di autodifesa da mettere in atto in occasione dell'evento reale. Al riguardo, sono state sino ad ora reperite poche informazioni su esercitazioni di simulazione di incidenti che abbiano coinvolto le popolazioni civili.

## **5.2.2 Piano provinciale di emergenza di protezione civile per incidenti dighe**

La citata L. 24 febbraio 1992 n. 225 "Istituzione del Servizio Nazionale della Protezione civile" ha previsto all'art. 14 che "il Prefetto, anche sulla base del programma provinciale di previsione e prevenzione, predisponga il Piano per fronteggiare l'emergenza su tutto il territorio della provincia e ne curi l'attuazione".

Il Piano di emergenza è definito come il progetto di tutte le attività coordinate e delle procedure di Protezione civile per fronteggiare un dato evento calamitoso (di carattere idrogeologico, sismico, vulcanico, industriale, incendio).

Gli incidenti alle dighe sono annoverati tra gli eventi connessi al rischio idrogeologico.

Come noto, le circolari del Ministero dei Lavori Pubblici n. 1125/1986 e 352/1987 hanno previsto la predisposizione da parte dei Concessionari delle grandi dighe (al tempo quelle caratterizzate da altezza non inferiore a 10 m o volume d'invaso non inferiore a 100.000 m<sup>3</sup>) di due studi idraulici finalizzati alla determinazione dei profili delle onde di piena artificiale a valle delle dighe conseguenti a:

- l'apertura completa degli scarichi manovrabili dello sbarramento (1125/1986)
- l'ipotetico collasso dello sbarramento (352/1987)

ed alla individuazione, ai fini di protezione civile delle aree soggette a sommersione nelle due circostanze indicate.

Ambedue le circolari fissavano un termine di cinque anni per la presentazione degli studi al Servizio Nazionale Dighe, ora Registro Italiano Dighe (RID), e soltanto la circolare 1125/1986 forniva alcune indicazioni sulle ipotesi per il calcolo dell'onda artificiale conseguente all'apertura degli scarichi.

Successivamente, la circolare della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 13.12.1995 n. DSTN/2/22806 ha fornito dettagliate raccomandazioni sulle modalità di calcolo e sulla rappresentazione dei risultati dei predetti studi.

Gli studi costituiscono la base conoscitiva di riferimento per la predisposizione del Piano di emergenza di protezione civile.

Il Registro Italiano Dighe, incaricato di promuovere ed acquisire gli studi (ai sensi del D.P.R. 85/91 art. 24 c.6e), provvede al loro esame e validazione, avvalendosi della consulenza di organi scientifici e universitari. Lo studio validato è trasmesso all'Autorità di Protezione civile, per la predisposizione del piano di emergenza.

Le grandi dighe censite nella banca-dati del RID sono 550 circa.

Su di un totale di 1000 studi da predisporre <sup>12</sup> in banca-dati RID risulta che al giugno 2003 siano stati predisposti e consegnati:

- l'85% degli studi dell'onda di piena artificiale conseguente all'apertura degli scarichi, dei quali oltre l'80% è stato esaminato e validato senza riserve;
- il 90% degli studi dell'onda di piena artificiale per collasso della diga. Di questi, quasi il 50% è stato accolto senza riserve; il 30% circa è stato accolto con riserve ed il restante 20% non accolto per la non sufficienza dei contenuti.

Da informazioni aggiornate della Protezione civile e del RID risulta che attualmente sono stati approvati dalle Prefetture i piani provinciale di emergenza riguardanti 50 grandi dighe, localizzate in una decina di province del Paese.

### **5.2.3 Piano di emergenza per incidenti alle grandi dighe della Provincia di Sondrio**

A titolo esemplificativo, è stato esaminato in dettaglio il Piano di emergenza per incidenti grandi dighe della Provincia di Sondrio, comprensivo di tutte le grandi dighe, ai sensi della L. 584/94, che ricadono nel territorio della Provincia (in totale 27, delle quali 9 di Enel, 5 di Eurogen, 4 di AEM e 8 di Sondel. Nel Piano è stata inserita anche 1 diga minore (Lago di Pirola di Enel).

Il Piano è composto da una parte generale e da 24 allegati tecnici, uno per ciascuno dei bacini artificiali considerati (4 bacini sono sbarrati ciascuno da 2 dighe).

Il Piano contiene procedure di carattere generale, che si rifanno a quelle contenute nel documento di protezione civile, da porre in atto nei casi di emergenza, il coordinamento delle quali è affidato al Prefetto.

---

<sup>12</sup> le dighe non fornite di scarichi manovrabili o quelle munite di scarico/hi manovrabile/i ma con portata scaricabile molto esigua rispetto alla capacità dell'alveo sono state esonerate dalla presentazione dello specifico studio

Sono, invece, delegate alle Amministrazioni locali ed, in particolare, ai Sindaci dei Comuni interessati dall'emergenza, i compiti operativi di allerta e di eventuale evacuazione e soccorso alle popolazioni a rischio con procedure oggetto di specifici piani particolareggiati riguardanti il territorio del Comune.

Il presupposto che motiva la predisposizione del Piano è l'esistenza di un rischio "residuo, definito "infinitesimale" (in virtù delle tecniche costruttive di realizzazione dello sbarramento, dell'efficace controllo dello stesso mediante moderni sistemi di monitoraggio, ecc....), dell'insorgenza di un evento incidentale, improvviso o preannunciato da segnali premonitori, dovuto a fattori imponderabili e/o casuali.

La documentazione tecnica su cui si basa il Piano è costituita da:

1. studi di propagazione dell'onda di piena artificiale per apertura scarichi (circ. LL. PP. 1125/86) e per collasso dell'opera (circ. LL. PP. 352/87)
2. documento di protezione civile inerente le procedure previste all'instaurarsi delle fasi di preallerta ed allerta (circ. PCM 19.3.1996 n. DSTN/2/7019)
3. Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione della diga (circ. LL. PP. 352/87 e successive).

Gli scenari di rischio prefigurati sono i seguenti:

1. crollo dello sbarramento con conseguenti effetti sui territori di valle interessati significativamente dall'onda di sommersione;
2. manovra volontaria degli scarichi nel corso di eventi di piena con rilascio di acqua e conseguente onda di piena artificiale.

Il sistema di protezione civile (procedure del documento di protezione civile ed eventuali misure di sicurezza del piano) si attiva all'instaurarsi delle fasi di "preallerta" e di "allerta", di cui alla citata circolare DSTN/2/7019/1996.

I principali soggetti coinvolti dall'attuazione del Piano sono:

- **Prefetto** (nella Prefettura risiede la Sala operativa)
- **Gestore della diga**
- **Ingegnere Responsabile** (o il suo Sostituto)
- Amministrazioni locali (**Comuni**, Province e Comunità Montane).
- Il **Sindaco** è l'Autorità comunale di protezione civile
- Registro Italiano Dighe
- Altre Autorità di Protezione civile
- Forze dell'Ordine, Associazioni e gruppi di volontariato
- Anas, Ferrovie dello Stato
- Croce Rossa e strutture sanitarie locali.

Il Piano impartisce direttive ai Comuni per la redazione di piani particolareggiati, per i quali è prevista l'adozione di cartografia in scala 1:10.000 o di maggior dettaglio.

Nei piani comunali devono essere evidenziati i territori, le infrastrutture e gli insediamenti interessati dalle ipotetiche onde di sommersione (e di piena artificiale). E' prevista, nei casi di situazione reale discosta da quella riportata in cartografia, l'eventuale adozione del criterio conservativo di ampliamento delle aree a rischio di sommersione indicate sulla cartografia scala 1:25.000, secondo le indicazioni del Servizio Nazionale Dighe (incremento del 50% del tirante idrico ricavato dai calcoli ed indicato in planimetria scala 1:25.000).

E' anche previsto che, se nelle immediate vicinanze dell'area inondabile già delineata nello studio dell'onda di piena per collasso vi sono centri abitati o importanti infrastrutture



produttive, la loro presenza renda necessario un approfondimento dello studio stesso di propagazione da parte del Concessionario su richiesta della Prefettura.

- Il Piano prevede in carico ai Sindaci dei Comuni coinvolti la predisposizione e/o l'attuazione delle misure pianificate per la salvaguardia della pubblica incolumità, compresa l'eventuale evacuazione della popolazione residente nelle zone a rischio e, nei casi di accadimento dell'evento, il soccorso alle stesse.

L'allegato tecnico di ciascuna diga compresa nel Piano contiene le seguenti informazioni:

- descrizione e dati tecnici ed amministrativi della diga (sbarramento e serbatoio) (con riferimento FCEM);
- risultati in forma di tabella e cartografica degli studi di propagazione dell'onda di piena artificiale nell'ipotesi di crollo e di apertura scarichi.

Il piano è stato approvato il 23 marzo 2001 con decreto Prefettizio, sulla base del parere tecnico favorevole dei seguenti soggetti:

- Comitato Provinciale di Protezione civile
- Servizio Nazionale Dighe – Ufficio di Milano, territorialmente competente
- Ingegneri Responsabili delle dighe comprese nel piano.

Sono stati previsti aggiornamenti del piano in relazione ad eventuali modifiche riguardanti la delimitazione delle aree a rischio. La frequenza di verifica delle predette portate è stata prevista annuale nei primi 3 anni.

#### **5.2.4 Cenni al panorama estero sulle procedure di protezione di protezione civile nei casi di emergenza dighe**

I principali Paesi esteri europei (ad esempio: Francia, Svizzera, Norvegia e Svezia) e mondiali (quali: Stati Uniti e Giappone) dispongono di procedure di protezione civile riguardanti le emergenze per incidenti alle dighe. Tali procedure sono generalmente contenute in piani di emergenza predisposti dalle Autorità di protezione civile. Dalle informazioni raccolte [1, 2], analogamente all'esperienza italiana, le procedure estere riguardano le fasi: di prevenzione dai rischi, individuati attraverso preliminari fasi conoscitive e di controllo dei fenomeni, di informazione e di allerta, di gestione dell'emergenza con attività di soccorso ed evacuazione della popolazione.

In generale i piani di primo intervento si sviluppano secondo uno schema predefinito contenente:

- [ un Piano generale distribuito a tutti i soggetti impegnati nell'emergenza.
- [ Un Piano di settore distribuito ai dipendenti ed ai volontari di ogni singolo settore, che riporta nel dettaglio le risorse disponibili ed utilizzabili (recapiti delle persone e delle ditte da coinvolgere nell'emergenza, localizzazione di determinate strutture nel territorio...).
- [ Un Organigramma con i nominativi e le funzioni che ciascun dipendente o volontario deve svolgere nell'emergenza.
- [ Istruzioni personalizzate da distribuire ad ogni soggetto coinvolto.

Viene infine predisposta una griglia di verifiche atta a testare la reale efficacia del piano di emergenza che deve:

- [ coprire tutte le emergenze che si possono realisticamente verificare e non solo quelle che, per motivi di opportunità, sono state considerate *possibili* dai suoi redattori;

- [ individuare un responsabile ufficiale dell'informazione;
- [ basarsi su strutture e mezzi che già esistono e non su strutture e mezzi disponibili solo su carta;
- [ indicare chiaramente chi comanda durante la gestione dell'emergenza senza rimandare a successivi coordinamenti;
- [ essere verificato in un'esercitazione seria e non organizzata solo a fini propagandistici;
- [ essere conosciuto da tutti i funzionari delle amministrazioni coinvolti, dalla popolazione, dai mass-media;
- [ essere approvato da un'autorità pubblica che sarà responsabile qualora esso si dovesse rivelare inefficace;
- [ essere accettato e controfirmato dai responsabili degli enti che dovranno intervenire durante l'emergenza;
- [ essere oggetto di periodici aggiornamenti.

In alcuni Paesi sia europei (ad es. Norvegia) sia mondiali (Giappone e Stati Uniti) molta attenzione è data alla fase di addestramento dei soggetti preposti, a diverso titolo, alla gestione delle emergenze attraverso simulazioni degli scenari di rischio prefigurati.

Nei Piani di emergenza delle dighe norvegesi sono, ad esempio, previste tipologie e frequenze di periodiche esercitazioni.

Negli Stati Uniti, la FEMA (Federal Emergency Management Agency) ha predisposto 5 tipologie di esercitazione, di complessità crescente, da eseguire periodicamente, che coinvolgono progressivamente tutte le parti attive nel processo di emergenza (proprietari/gestori, consulenti, amministrazioni locali). L'esercitazione di grado più alto viene effettuata simulando l'emergenza con il maggior realismo possibile.

In Francia è molto curata l'informazione ai cittadini attraverso le seguenti modalità:

- pubblicazione del piano di emergenza
- deposito degli estratti del piano presso ciascun Municipio
- rilascio di informazioni specifiche ed avvisi da parte di soggetti abilitati
- predisposizione di un fascicolo riguardante la zona immediatamente a valle della diga (la prima raggiunta dall'onda di piena artificiale) redatto e distribuito da Concessionario alla popolazione residente.

In conclusione, il confronto con le esperienze straniere evidenzia che l'addestramento e l'informazione sono attività strategiche per assicurare la riuscita del Piano di emergenza.

In particolare, esse sono finalizzate ad:

- aumentare nell'opinione pubblica la fiducia nel successo del Piano
- chiarire i ruoli e le responsabilità di tutti i soggetti coinvolti e migliorare il coordinamento e la cooperazione
- evidenziare eventuali debolezze nel piano di emergenza (azioni, procedure, informazioni verso l'esterno, mappe delle aree inondabili ...)
- rivelare eventuali carenze di risorse nella gestione dell'emergenza.

### **5.2.5 Recenti direttive nazionali inerenti la gestione del rischio idraulico ed idrogeologico**

Uno sforzo di sintesi, nell'ambito della gestione del rischio idraulico ed idrogeologico, è stato compiuto con la recente emanazione della **Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 27 febbraio 2004** *“Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile”*.

Le principali finalità della Direttiva sono:

- l'individuazione delle autorità a cui compete la responsabilità di allertare il sistema della protezione civile ai diversi livelli, statale e regionale, nelle diverse situazioni che possono determinare situazioni di rischio;
- il coordinamento dei soggetti istituzionali coinvolti nelle attività di previsione e prevenzione del rischio e di gestione dell'emergenza;
- la definizione degli strumenti e delle modalità con cui le informazioni relative al rischio idrogeologico ed idraulico devono essere raccolte, analizzate e rese disponibili alle autorità ed agli organi di protezione civile territorialmente competenti;
- l'organizzazione di un Sistema di Allerta Nazionale.

La gestione del Sistema di Allerta Nazionale è assicurata dal Dipartimento della protezione civile e dalle Regioni attraverso la rete dei Centri Funzionali, nonché dai Centri di Competenza chiamati a concorrere a tale rete (ordinanza di P.C. n. 3134 del 10.05.2001, modificata dall'ordinanza n. 3260 del 27.12.2002).

Il Sistema di Allerta Nazionale prevede:

- una fase previsionale (riguardante l'evolversi della situazione meteorologica, idrologica, idraulica e geo-morfologica attesa e dei riflessi che tale situazione può determinare sugli insediamenti antropici e sull'ambiente);
- una fase di monitoraggio e sorveglianza (osservazione dell'evento meteo-idrologico ed idro-geologico in atto e previsione a breve dei relativi effetti attraverso modelli sviluppati in base alle misure raccolte in tempo reale);
- una fase di prevenzione del rischio (azioni incluse nei Programmi regionali di previsione e prevenzione, di cui all'art. 108 del D.Leg<sup>vo</sup> 112/98);
- successive fasi della gestione dell'emergenza (attuazione dei Piani d'emergenza regionali, provinciali e comunali).

I Programmi regionali di previsione e prevenzione devono altresì promuovere, nell'ambito dei presidi territoriali, l'organizzazione di un Servizio di piena e di pronto intervento idraulico (R.D. n. 523/1904, R.D. n. 2669/1937 e successive modifiche ed integrazioni).

Nella nuova Direttiva si delineano anche le misure di previsione e prevenzione finalizzate alla riduzione del rischio idrogeologico ed idraulico elevato e molto elevato (legge n. 267/1998) ed al governo delle piene.

Nelle aree a rischio idrogeologico ed idraulico elevato (R3) e molto elevato (R4), le Regioni, le Province ed i Comuni, dovranno individuare i punti critici del territorio, la popolazione, le infrastrutture e gli insediamenti esposti a tali rischi ed organizzare:

- un sistema di osservazione e di monitoraggio dei movimenti franosi e delle piene;
- i necessari servizi di pronto intervento e prevenzione non strutturale sulla base:
  - dei programmi regionali di previsione e prevenzione di cui alla legge n. 225/92;
  - dei piani di bacino e/o dei piani di bacino stralcio di cui alla legge n. 183/89;
  - dei piani di tutela delle acque di cui al decreto legislativo n. 152/99;
  - dei piani per l'assetto idrogeologico di cui alla legge n. 267/98;
  - dei piani territoriali di coordinamento provinciale.

Per il rischio idrogeologico, i livelli di moderata ed elevata criticità dovranno essere stabiliti in base al superamento di definite soglie pluviometriche. Per quanto riguarda il rischio idraulico, i livelli di moderata e di elevata criticità dovranno essere stabiliti in base al superamento di soglie idrometriche prestabilite.

Al fine di predisporre le attività necessarie alla prevenzione ed alla riduzione del rischio idraulico nel caso di eventi di piena, anche in presenza di opere trasversali e di invasi di ritenuta in alveo, le Regioni, con il concorso del Dipartimento della protezione civile, devono assolvere ad un adeguato Governo delle piene, a cui devono concorrere le attività di:

- previsione, monitoraggio e sorveglianza
- presidio territoriale idraulico
- regolazione dei deflussi.

Nel caso di eventi che coinvolgano bacini idrografici di interesse regionale, interregionale o nazionale e che per loro natura ed estensione comportino l'intervento coordinato di più enti o amministrazioni competenti in via ordinaria, le Regioni, in forma singola oppure d'intesa tra loro, devono esercitare le funzioni ed i compiti di Autorità di protezione civile per la gestione delle piene.

Alle attività dell'Autorità di protezione civile per il governo delle piene concorrono in affiancamento tecnico-scientifico, oltre al Centro Funzionale di riferimento:

- l'Autorità di bacino interessata sia per la pianificazione che per la caratterizzazione delle criticità idrauliche e del rischio residuo persistente a scala di bacino;
- il Registro Italiano Dighe per la sicurezza e la funzionalità delle dighe.

Il Servizio di piena e di pronto intervento idraulico, disciplinati dal R.D. n. 523/1904 e dal R.D. n. 2669/1937 per i tronchi fluviali classificati di prima e seconda categoria, costituisce un'attività di monitoraggio non strumentale e di contrasto della pericolosità degli effetti conseguenti ad una piena che potrebbe dare origine ad un evento alluvionale. Il nuovo presidio territoriale idraulico, esteso alle aree classificate a rischio idrogeologico ed idraulico elevato e molto elevato, deve consistere in attività di:

- rilevamento dei livelli idrici del corso d'acqua agli idrometri regolatori per rilevare il livello di criticità dell'evento di piena in atto;
- osservazione e controllo dello stato delle arginature e ricognizione delle aree potenzialmente inondabili, soprattutto nei punti idraulicamente critici, al fine di rilevare situazioni di impedimento al libero deflusso delle acque;
- pronto intervento idraulico ai sensi del R.D. n. 523/1904 e primi interventi urgenti ai sensi della legge n. 225/1992, tra cui la rimozione degli ostacoli, causati da movimenti franosi, smottamenti spondali, accumuli detritici, che possono impedire il rapido defluire delle acque, la salvaguardia delle arginature e la messa in sicurezza delle opere idrauliche danneggiate.

L'Autorità responsabile del governo delle piene deve assicurare, con il concorso dei Centri Funzionali, delle Autorità di Bacino, del Registro Italiano Dighe, degli Uffici territoriali di Governo ed attraverso i gestori di opere idrauliche, la massima laminazione dell'evento di piena, atteso o in atto, e lo sversamento in alveo di portate non pericolose per i tratti del corso d'acqua a valle delle opere stesse.

A tal fine deve essere valutata l'influenza che possono esercitare i volumi accumulabili nei suddetti invasi sulla formazione e propagazione dell'onda di piena a valle; in base ai risultati di tali valutazioni ed alle condizioni di esercizio delle singole dighe, devono essere individuati gli invasi effettivamente utili alla laminazione delle piene e quindi ad una riduzione del rischio idraulico di valle.

Per tali invasi le Regioni, con il concorso tecnico dei Centri Funzionali decentrati, dell'Autorità di bacino e del Registro italiano dighe, d'intesa con i gestori, sotto il

coordinamento del Dipartimento della protezione civile, predisporranno ed adotteranno un Piano di laminazione preventivo.

La circolare DSTN/2/22806 del dicembre 1995 imponeva ai concessionari delle opere di sbarramento di valutare la massima portata di piena transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza fluviale come delimitata dalla competente Autorità di bacino. A questo proposito la nuova direttiva propone due diverse procedure, definite programma statico e programma dinamico, che consentano di rendere disponibile con un adeguato anticipo i volumi utili ai fini della laminazione della piena.

Il programma statico prevede il mantenimento di una quota di invaso minore della quota d'esercizio autorizzata durante i periodi dell'anno valutati critici per il verificarsi di eventi di piena. Il programma dinamico prevede invece l'esecuzione di manovre preventive e/o nel corso dell'evento di piena, da attivare sulla base di previsioni quantitative delle precipitazioni sul bacino a monte e dei conseguenti deflussi attesi all'invaso, nonché sulla base della portata territorialmente sostenibile a valle dello stesso.

Per i bacini dichiarati di interesse interregionale e nazionale ai sensi della legge n. 183/1989 in cui siano presenti opere di ritenuta iscritte nel Registro italiano dighe, il Dipartimento e le Regioni interessate costituiranno una Unità di Comando e Controllo che si rappresenterà come l'Autorità di protezione civile per il governo delle piene.

Alle attività di tale Unità concorreranno, secondo quanto stabilito dalle Regioni d'intesa tra loro, sentito il Dipartimento:

- il Centro Funzionale di riferimento per la condivisione delle informazioni e dei dati;
- l'Autorità di bacino interessata sia per la pianificazione che per la caratterizzazione delle criticità idrauliche e del rischio residuo persistenti a scala di bacino;
- il Registro Italiano Dighe per la sicurezza e la funzionalità delle dighe.

I gestori degli invasi sono tenuti a trasmettere in tempo reale i dati di monitoraggio dell'invaso e delle manovre effettuate sugli organi di scarico; nel caso in cui il gestore, anche ai fini di salvaguardare l'opera, le popolazioni ed i beni a valle della diga, proponga una manovra preventiva contemplata dal programma dinamico o una manovra difforme da quanto rappresentato nel documento di protezione civile e/o nel piano di laminazione, dovrà darne comunicazione all'Unità di comando e controllo attraverso l'Ufficio territoriale del Governo di riferimento.

L'Unità di comando e controllo, valutata la sostenibilità della proposta con il concorso tecnico del Centro Funzionale di riferimento, dell'Autorità di bacino e del Registro Italiano Dighe, trasmetterà il suo consenso all'Ufficio territoriale del Governo di riferimento, che, preso atto, autorizzerà anche dal punto di vista amministrativo il gestore dell'invaso a procedere.

## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- D.P.R. 01.11.59 n. 1363 "Regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta"; art. 6 "Foglio di Condizioni"
- D.P.R. 06.02.81 n. 66 "Regolamento di esecuzione della Legge 08.12.70 n. 996, recante norme sul soccorso e l'assistenza alle popolazioni colpite da calamità"
- D.P.R. 17 Maggio 1988 n.175 "Recepimento della Direttiva CEE n. 501 del 24 Giugno 1982 "Direttiva Seveso 1"
- Circolare Min. LL.PP. 28.08.86 n. 1125 "Modifiche ed integrazioni delle precedenti circolari n. 1959/85 e n. 1391/85 concernenti i sistemi di allarme e segnalazioni di pericolo per le dighe di ritenuta".

- Circolare 13 Min. Interni D.G.P.C. 20.03.87 n. 7 “Piani di emergenza per incidenti alle dighe di ritenuta”.
- Circolare Min. LL.PP. 04.12.87 n. 352 “Prescrizioni inerenti l’applicazione del Regolamento sulle dighe di ritenuta”.
- Legge 24.02.92 n. 225 “Istituzione del Servizio Nazionale della Protezione Civile”.
- Circolare Min. Interni D.G.P.C. 17.06.94 n. 15 “ ... nelle more della definitiva approvazione da parte del GNDCl degli studi delle onde di piena ...”
- Legge 21.10.94 n. 584 “Misure urgenti in materia di dighe”.
- Circolare P.C.M. 13.12.95 n. DSTN/2/22806 “Disposizioni attuative ed integrative in materia di dighe”
- Circolare P.C.M. 19.03.96 n. DSTN/2/7019 “Disposizioni inerenti l’attività di protezione civile nell’ambito dei bacini in cui siano presenti dighe”.
- Direttiva Dipartimento Protezione Civile dicembre 1996 “Attività preparatorie e procedure di intervento in caso di emergenza per protezione civile”.
- Decreto Legislativo 31 marzo 1998, n. 112 “Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59”
- Circolare Min. Interni D.G.P.C. 14.01.99 SA 99 “Studio relativo alle onde di piena artificiali di cui alla Circolare Min. LL.PP. n. 352/87”.
- Decreto Legislativo 17 agosto 1999, n. 334 “Recepimento della Direttiva CEE n. 96/82 “Direttiva Seveso 2”
- Legge 3 agosto 1998, n. 267 “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180, recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania”
- Ordinanza di protezione civile n. 3134 del 10.05.2001, modificata dalla Ordinanza di protezione civile n. 3260 del 27.12.2002;
- Legge 9 novembre 2001, n. 401 “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343, recante disposizioni urgenti per assicurare il coordinamento operativo delle strutture preposte alle attività di protezione civile”
- Direttiva PCM 27 febbraio 2004 “Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrologico ed idraulico ai fini di protezione civile”

### 5.3 La Ricerca di Sistema del settore elettrico

Nel presente paragrafo si illustrano le attività svolte nel corso del programma di ricerca SIVAL "Sviluppo di metodologie di "Risk Assessment per le dighe" condotto dal CESI con il finanziamento del Fondo per la Ricerca del sistema elettrico italiano istituito con il D.M. MICA del 26/01/2000

#### Scopo del progetto

I principali obiettivi del progetto erano:

1. definire i criteri ed impostare le linee guida per la messa a punto di una procedura che consentisse di organizzare in banca dati tutte le informazioni utili a caratterizzare in termini comparativi lo stato fisico di dighe appartenenti ad un dato censimento;
2. attribuire ad ognuna delle informazioni di cui sopra un livello di verosimiglianza opportunamente rapportato sia al grado di attendibilità della informazione sia alla importanza ed al ruolo che essa riveste nei confronti di predefiniti meccanismi di collasso dell'opera;
3. calcolare indici globali rappresentativi delle condizioni di sicurezza del manufatto;
4. sviluppare un software con le funzionalità di base definite ai punti precedenti.

Per il raggiungimento degli obiettivi suddetti si è ritenuto indispensabile far ricorso ad un approccio probabilistico di analisi del rischio. Notoriamente il collasso di una diga è un evento con bassissima probabilità di occorrenza ma capace di determinare gravi conseguenze e ingenti danni non solo materiali. Deriva da ciò il fatto che, inevitabilmente, la stima del rischio associato ad un tale evento si presenta molto complessa. Lasciando da parte le considerazioni relative all'impatto psicologico, sociale ed economico che la problematica comporta, in quanto segue si forniranno soltanto alcuni elementi essenziali per l'inquadramento dell'approccio adottato.

#### Livelli di complessità

L'accuratezza delle analisi di rischio dipende sostanzialmente dalla completezza e attendibilità dei dati e delle informazioni disponibili su ognuna delle tre classi di eventi che solitamente compongono la valutazione del rischio:

- 1 Le azioni a cui verosimilmente il sistema sarà sottoposto (hazard).  
Nel caso delle dighe queste hanno origini di natura quanto mai varia: meccanica, termica, idrologica, chimica, sismica.
- 2 La vulnerabilità del sistema.  
Questo è un attributo la cui quantificazione fornisce una misura della capacità del sistema di far fronte alle azioni applicate. Per caratterizzare la vulnerabilità di un sistema strutturale complesso è indispensabile poter sperimentare, osservare ed interpretare il suo comportamento.
- 3 Le conseguenze derivanti dalla risposta del sistema alle azioni ad esso applicate.  
Per la previsione della risposta ad azioni future e la stima delle conseguenze da questa prodotte è necessaria la messa a punto di modelli in grado di riprodurre validamente il comportamento osservato e simulare credibilmente quello atteso.

Ognuno degli aspetti suddetti può essere indagato a vari livelli di complessità e dettaglio. Nel programma di ricerca sviluppato si è fatto riferimento a tre livelli di accuratezza:

- Livello 0: si prende solo parzialmente in considerazione l'hazard; si mette a fuoco l'aspetto della vulnerabilità in base a dati di rapido e semplice reperimento; si esaminano, nei limiti derivanti dalle approssimazioni delle determinazioni precedenti, le conseguenze (risposta strutturale ed eventuali danni).

- Livello 1: rispetto al livello 0, si approfondisce la valutazione della vulnerabilità facendo riferimento ad una base dati più ampia ricorrendo, ad esempio, alle informazioni provenienti dal monitoraggio e attribuendo a queste informazioni diversi gradi di confidenza.
- Livello 2: si esegue la più completa ed ampia ricognizione di tutte le grandezze in gioco. In particolare si eseguono simulazioni numeriche del comportamento del sistema utilizzando sofisticati modelli matematici. Si approfondisce l'indagine relativa all'hazard cioè ai fenomeni climatici, idrologici, sismici che investono il sistema diga, invaso, terreno.

### Probabilità a posteriori ed a priori

La stima della probabilità di un evento basata sulle conoscenze possedute in un certo istante deve poter essere aggiornata nel tempo ogni qualvolta vengano acquisiti nuovi elementi di valutazione. Questa situazione ricorre, ad esempio, quando una stima viene rivista in base alle informazioni provenienti da un sistema di rilevazione. In particolare, per le dighe, le osservazioni provenienti dalle ispezioni periodiche e dai sistemi di monitoraggio migliorano la conoscenza delle condizioni dell'opera e quindi consentono una evoluzione temporale delle stime. Nel calcolo delle probabilità, lo strumento analitico che permette di tenere conto delle nuove informazioni e di rivalutare coerentemente le stime è fornito dalla teoria Bayesiana delle decisioni.

Una stima preliminare della probabilità di rottura di una diga secondo i diversi meccanismi di collasso si può ricavare dai dati storici relativi ad impianti simili a quello in esame. Questa stima ha una validità limitata in quanto rappresenta un valore medio che può essere poco rappresentativo del caso particolare in esame. L'ispezione dell'opera e i dati del monitoraggio forniscono informazioni suppletive che consentono una valutazione più appropriata. Di fatto l'ispezione ed il giudizio ingegneristico hanno un ruolo determinante e primario non solo nella valutazione dello stato corrente dell'impianto ma anche nella previsione del suo comportamento futuro. Il modello Bayesiano utilizza il teorema di Bayes per aggiornare la probabilità stimata su dati storici, ogni volta che una nuova informazione si rende disponibile.

Tenendo presente la regola fondamentale della probabilità condizionata<sup>13</sup>, usando il teorema di Bayes, la probabilità di collasso a posteriori  $P_i''[F|X]$ , (a posteriori in quanto tiene conto del verificarsi dell'evento  $X$ ), può essere espressa nel modo seguente:

$$P_i''[F|X] = \frac{P_i'[F] \cdot L[X|F]}{P_i'[F] \cdot L[X|F] + P_i'[\bar{F}] \cdot L[X|\bar{F}]}$$

dove  $P_i'[F]$  e  $P_i'[\bar{F}]$  sono rispettivamente la probabilità a priori di collasso e di assenza di collasso nel modo "Mi" calcolate in base ai dati storici mentre  $L[X|F]$  e  $L[X|\bar{F}]$  sono rispettivamente termini che esprimono la probabilità di osservare l'evento  $X$  in caso di collasso e la probabilità di

<sup>13</sup> La probabilità che si verifichi A dato B è data dalla relazione:

$$P[A|B] = \frac{P[A \cap B]}{P[B]}$$

che esprime la probabilità relativa di A rispetto allo spazio ridotto di eventi B. Ora l'insieme di eventi  $A_1, A_2, \dots, A_n$  costituisca una partizione dello spazio degli eventi S. Allora è:  $B = B \cap A_1 + B \cap A_2 + \dots + B \cap A_n$ .

Ciò posto risulta:

$$P[A_1|B] = \frac{P[A_1 \cap B]}{P[B]} = \frac{P[B \cap A_1]}{P[B \cap A_1 + B \cap A_2 + \dots + B \cap A_n]}$$

da cui segue:

$$P[A_1|B] = \frac{P[A_1] \cdot P[B|A_1]}{P[A_1] \cdot P[B|A_1] + P[A_2] \cdot P[B|A_2] + \dots + P[A_n] \cdot P[B|A_n]}$$



osservare lo stesso evento in assenza di collasso. L'occorrenza di  $X$  si accerta attraverso l'osservazione del comportamento della diga.

Esempio<sup>14</sup>. Si consideri avvenuto il collasso della diga e che si tratti di una diga a gravità. Si deve in primo luogo rispondere alla domanda: qual è la probabilità che il collasso si sia verificato secondo la modalità "i-esima" ( $i=1,2,3$ )?

Supponiamo che siano state individuate 3 diverse modalità di rottura e che per esse siano assegnate le probabilità condizionate seguenti:  $P[M1|F]= 0.67$  (instabilità della fondazione);  $P[M2|F]= 0.22$  (cedimento della struttura);  $P[M3|F]= 0.11$  (altri meccanismi).

Per aggiornare le probabilità condizionate  $P[M|F]$  in base alle informazioni provenienti dalle ispezioni si adotta la formulazione della relazione di Bayes rappresentata dalla espressione seguente:

$$P''[M_j|X_j \cap F] = \frac{P[X_j|M_j \cap F] \cdot P'[M_j|F]}{\sum_{i=1}^3 P[X_i|M_i \cap F] \cdot P'[M_i|F]}$$

dove:  $P''[M_j|X_j \cap F]$ ,  $P[X_j|M_j \cap F]$  e  $P'[M_j|F]$  sono rispettivamente:

1. la probabilità che il collasso avvenga secondo la modalità  $M_j$ , data la presenza dell'attributo  $X_j$  al collasso
2. la probabilità della presenza dell'attributo  $X_j$  dato il collasso secondo la modalità  $M_j$ ,
3. la probabilità della modalità  $M_j$  dato il collasso.

I valori di  $P[X_j|M_j \cap F]$  sono forniti nelle tabelle seguenti.

Valore Indice $X_1$	Descrizione dello stato fisico rilevato	$P[X_i M_i \cap F]$
1	Buone condizioni generali delle strutture e delle fondazioni. Assenza di fratture, erosione e difetti nelle strutture roccia. Infiltrazioni di entità trascurabile. Buon fattore di sicurezza.	0.01
2	Modesti indizi di erosione alle spalle e nella roccia di fondazione.	0.04
3	Buone condizioni di diga e fondazioni. Assenza di cedimenti differenziali anche se si osservano indizi di rotture in roccia. Si sospetta la fragilità del materiale.	0.06
4	Infiltrazioni leggere, localizzate in fondazione e spalle, prive di sospensioni solide.	0.2
5	Evidenza di carenze nel materiale, presenza di strati comprimibili e/o materiali organici in putrefazione nelle fondazioni o spalle.	0.5
6	Presenza di forti erosioni nel terreno e affioramenti d'acqua a valle.	0.72
7	Terreni in fondazione e spalle scadenti (argille espansive, limi e gessi). Rocce con strutture a giunti. Basso fattore di sicurezza rispetto a resistenza, scorrimento o ribaltamento.	0.85
8	Forti infiltrazioni in fondazioni e spalle. Presenza di fontanazzi a valle.	0.95
9	Forti assestamenti e evidenze di sollevamenti a valle.	0.97
10	Notevoli movimenti e rotazioni della diga verso valle. Fratture trasversali nella diga che indicano assestamenti differenziali in fondazione.	0.98

<sup>14</sup> L'esempio fa riferimento alla metodologia di analisi di livello 0.

Valori indice  $X1$  e probabilità  $P[X_1|M_1 \cap F]$

Valore Indice $X2$	Descrizione dello stato fisico rilevato	$P[X_{2,j} M_2 \cap F]$
1	Buone condizioni. Assenza di lesioni o movimenti anomali. Assenza di zone note di debolezza.	0.01
2	Presenza di un leggero quadro fessurativo non significativo per la struttura.	0.02
3	Piccole fratture di scarsa rilevanza strutturale localizzate in zone ad alta concentrazione di sforzo (spalle).	0.03
4	Buone condizioni. Presenza o possibilità di carichi inusuali come carichi da impatto, forti sottopressioni e variazioni o gradienti estremi di temperatura.	0.1
5	Evidenza di debolezze locali nel calcestruzzo.	0.3
6	Inceppamento di saracinesche e valvole, deformazioni nelle gallerie interne o nelle condotte.	0.5
7	Evidenze di estese aree di debolezza del calcestruzzo dovute a degrado, scheggiatura e lesioni.	0.75
8	Evidenze di lesioni strutturali, indizi di perdita di resistenza.	0.85
9	Movimenti differenziali della struttura. Lesioni in tubazioni e condotte forzate. Fenomeni localizzati di rottura per compressione/flessione e instabilità nel calcestruzzo.	0.95
10	Lesioni ampie e continue con possibilità di emissione di acqua. Apertura di giunti di costruzione. Notevoli perdite all'interno ed all'esterno della diga.	0.98

Valori indice  $X2$  e probabilità  $P[X_2|M_2 \cap F]$

Valore Indice	Descrizione dello stato fisico rilevato	$P[X_3 M_3 \cap F]$
1	Condizioni buone	0.01
2		0.03
3		0.04
4	Condizioni neutre	0.15
5		0.4
6		0.61
7		0.8
8	Condizioni scadenti	0.9
9		0.96
10		0.98

Valori indice  $X3$  e probabilità  $P[X_3|M_3 \cap F]$

Ipotizzando che, in base alle rilevazioni effettuate in diga, sia:

$$X_1 = 2 \Rightarrow P[X_1|M_1 \cap F] = 0.04$$

$$X_2 = 7 \Rightarrow P[X_{7,2}|M_2 \cap F] = 0.75$$

$$X_3 = 3 \Rightarrow P[X_{3,3}|M_3 \cap F] = 0.04$$

si ottiene:

$$P^*[M_1|X_1 \cap F] = \frac{0.04 \times 0.67}{0.04 \times 0.67 + 0.75 \times 0.22 + 0.04 \times 0.11} = \frac{0.0268}{0.1962} = 0.136$$

$$P^*[M_2|X_2 \cap F] = \frac{0.75 \times 0.22}{0.1962} = 0.842$$

$$P^*[M_3|X_3 \cap F] = \frac{0.04 \times 0.11}{0.1962} = 0.022$$

## 6. APPLICAZIONE DELLE ANALISI DI RISCHIO NEL SETTORE DELLE DIGHE: IL CASO DELLA DIGA DI Kyrkösjärvi

Nell'ambito del progetto europeo RESCDAM, conclusosi nel 2001, finalizzato allo sviluppo di piani di emergenza e soccorso basati su studi di inondazione a seguito di crollo delle dighe, è stata eseguita l'analisi di rischio della diga di Kyrkösjärvi [E. Slunga, "Concept and Bases of Risk Analysis for Dams with an example application on Kyrkösjärvi dam, RESCDAM, Jan. 2001]. Il progetto era coordinato dall'Istituto Ambientale Finlandese e ha visto la partecipazione, oltre che di CESI, di EDF e di altre istituzioni ambientali finlandesi.

### 6.1 Descrizione della diga

La diga in terra del bacino di Kyrkösjärvi è situata nei pressi della città di Seinäjoki, nella parte occidentale della Finlandia, è stata progettata nel 1977 ed è entrata in servizio nel 1981. Le principali caratteristiche della diga e del serbatoio sono le seguenti:

<b>Lunghezza diga:</b>	12.5 Km
<b>Altezza massima diga:</b>	7 m
<b>Uso:</b>	laminazione delle piene del fiume Seinäjoki; produzione idroelettrica nella centrale di Kyrkösjärvi; ricreazione
<b>Volume del serbatoio:</b>	10.8 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> al livello di ritenuta normale (77.5 m s.l.m.); 15.8 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> al livello di max invaso (81.25 m s.l.m.); 22,3 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> al livello d'invaso di emergenza (82.25 m s.l.m.)
<b>Massimo afflusso nel serbatoio:</b>	48 m <sup>3</sup> /s (45 m <sup>3</sup> /s dal fiume Seinäjoki attraverso il canale di adduzione, 3 m <sup>3</sup> /s dal bacino idrografico)
<b>Massimo deflusso dal serbatoio:</b>	26 m <sup>3</sup> /s (21 m <sup>3</sup> /s nella centrale idroelettrica, 5 m <sup>3</sup> /s nel fiume Seinäjoki)

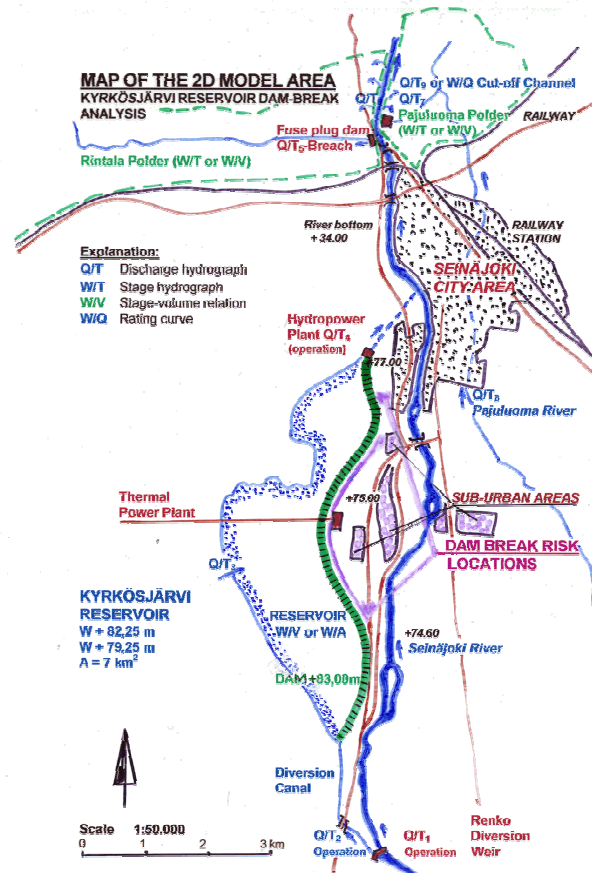
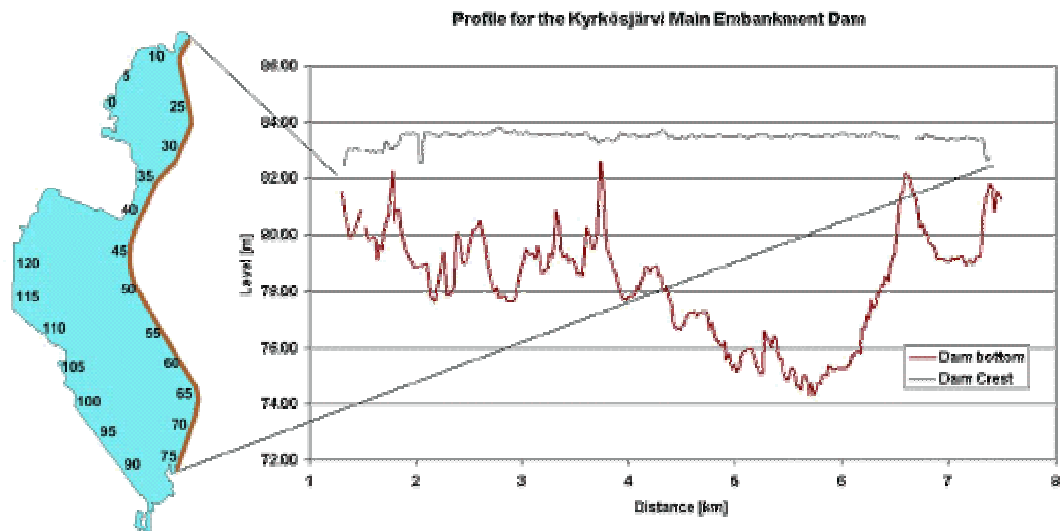
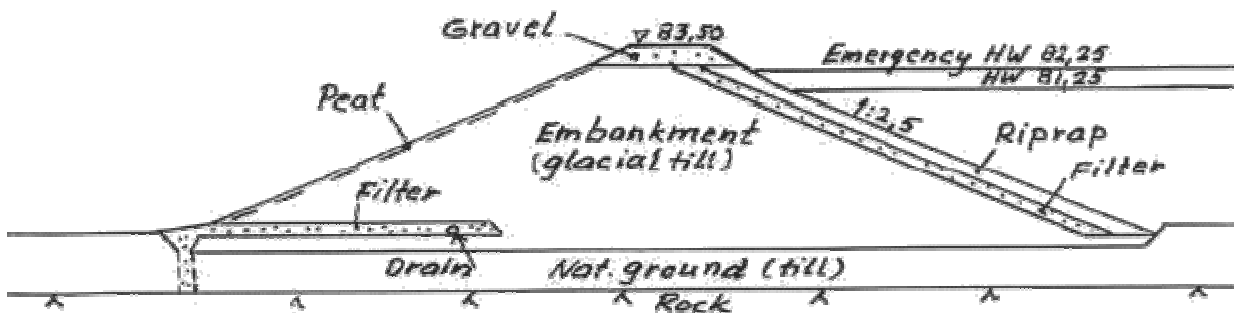


Figura 6.1 – Mappa dell'area del bacino di Kyrkösjärvi



**Figura 6.2 – Sviluppo longitudinale della diga di Kyrkösjärvi**

Secondo la normativa tecnica finlandese (Dam Safety Code of Practice, 1985÷1997) la diga è classificata come “P”, corrispondente al massimo livello di rischio, e quindi è stata dotata di un programma di monitoraggio esteso e continuo per il controllo del comportamento strutturale, comprendente un piano di ispezioni periodiche.



**Figura 6.3 – Sezione di max. altezza della diga di Kyrkösjärvi**

### 6.1.1 Progetto geotecnico

Si tratta di una diga in terra omogenea con nucleo impermeabile costituito da argille glaciali. Il nucleo è collegato al substrato roccioso, la cui superficie è stata consolidata mediante iniezioni cementizie, attraverso strati di terreno naturale a bassa permeabilità. La quota originaria del coronamento della diga era di 82.95 m s.m., con un franco di 1.70 m rispetto al massimo livello d'invaso (81.25 m s.m). Nel 1985, al fine di migliorare la sicurezza nei confronti dell'azione del ghiaccio, il coronamento fu elevato tra 0.4 e 0.5 m, consentendo così di ottenere un franco di 1.2 m rispetto al livello di emergenza (82.25 m s.m.) in corrispondenza della sezione principale della diga. Nelle parti più basse il franco risulta minore (0.25÷0.50 m), e in loro corrispondenza è stata opportunamente aumentata la larghezza del coronamento. La pendenza dei paramenti varia tra 1:2 nella parti inferiori a 1:2.5 nelle parti superiori. Il paramento di monte è protetto da un filtro in pietrame naturale di spessore pari a 0.5 m e da una scogliera di pietra di spessore pari a 0.7 m. Il paramento di valle è coperto da uno strato di torba di spessore variabile tra 0.2 a 0.3 m. L'analisi di stabilità è stata eseguita con il metodo Bishop semplificato e ha fornito, con l'altezza originaria, un fattore di sicurezza pari a 1.9, sia in presenza di moti di filtrazione che in caso di rapido svasso. L'innalzamento del franco ha comportato la diminuzione del fattore di sicurezza, che risulta comunque sempre superiore a 1.5, che rappresenta il limite

minimo consentito dal regolamento finlandese. L'asestamento della diga, limitato a pochi centimetri, è stato considerato accuratamente nella determinazione del franco.

Il sistema di drenaggio è stato migliorato aggiungendo allo strato drenante orizzontale, costituito da pietrame naturale, una trincea verticale estesa fino allo strato roccioso, riempita con lo stesso materiale, al fine di "tagliare" gli eventuali moti di filtrazione. La filtrazione massima risulta così contenuta a  $0.72 \text{ cm}^3/\text{s}$  per ogni metro di diga.

Tutti i materiali previsti per la costruzione della diga soddisfano i requisiti generali richiesti per questa tipologia strutturale (Le parti ausiliarie in calcestruzzo sono state costruite direttamente sulla roccia di fondazione, non hanno subito spostamenti e non sono stati osservati danni o perdite in corrispondenza del contatto con la diga stessa).

### 6.1.2 Progetto idrologico

Le portate massime del fiume Seinäjoki in corrispondenza del canale di adduzione al serbatoio risultano rispettivamente pari a  $Q_{100} = 170 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $Q_{1000} = 260 \text{ m}^3/\text{s}$  e la portata di scarico del bacino risulta conseguentemente pari a 1.9 e  $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Come già descritto, la massima portata del canale di adduzione è pari a  $45 \text{ m}^3/\text{s}$ , che aggiunti ai  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  del bacino idrografico, forniscono la massima portata di piena teorica, pari quindi a  $48 \text{ m}^3/\text{s}$ . La massima portata di scarico è pari a  $25 \div 33 \text{ m}^3/\text{s}$  e pertanto la sicurezza della diga non risulterebbe compromessa qualora il canale di adduzione fosse parzialmente o totalmente chiuso.

### 6.1.3 Dati costruttivi

I dati raccolti confermano che la gran parte del materiale impiegato rientra nei requisiti del fuso granulometrico di progetto. Lo stesso risulta dai dati relativi alla compattazione degli strati, che rispondono ai requisiti (90% Proctor modificato), sebbene siano presenti alcune significative deviazioni per alcuni strati inferiori, che hanno registrato un contenuto d'acqua superiore a quello ottimale variabile tra il 4 e il 10%. Tuttavia non si ritiene che quest'ultima circostanza possa compromettere direttamente la stabilità della diga.

La diga è stata costruita a strati successivi aventi spessore variabile tra 0.6 a 1.3 m e si è riconosciuto che questo fatto, comportando una maggiore disomogeneità del nucleo, ha reso a sua volta maggiormente dispersi i valori di permeabilità del nucleo stesso.

Non essendo poi stato possibile reperire il pietrame alluvionale naturale per la costruzione dei filtri di drenaggio, si è dovuto impiegare del materiale roccioso frantumato che rispettava tutti i requisiti, in particolare le dimensioni del pietrame ( $d$ ) rispettavano il criterio  $d_{85}/D_{85} < 4$ , ma non quelli  $d_{50}/D_{50} < 30$  e  $5 D_{15} < d_{15} < 40 \cdot 45 D_{15}$ . In altre parole ciò equivale a ritenere che il nucleo ( $D$ ) sia in qualche misura auto-filtrante. I tests di permeabilità hanno tuttavia evidenziato che nella zona del nucleo i valori stanno al di sotto del valore di progetto,  $k = 10^{-6.5} \text{ m/s}$ , con piccole deviazioni in corrispondenza del paramento di valle.

## 6.2 Criticità individuate

a) Come detto in precedenza la superficie della roccia di fondazione è fessurata e ricoperta da sottili strati di terreno disomogeneo, e per questa ragione la filtrazione sotto la diga risulta superiore a quella prevista. Nonostante la presenza del filtro nella trincea verticale e le iniezioni di consolidamento, che hanno ridotto ma non eliminato completamente le perdite, si è manifestato un significativo fenomeno di erosione sul fondo di un canale di drenaggio a valle tra le sezioni 57 e 58. Sono state intraprese misure preventive per contrastare il fenomeno e l'evoluzione dello stesso è sotto costante osservazione.

- b) Come detto in precedenza i differenti valori di densità nei diversi strati hanno prodotto corrispondenti differenze nei valori di permeabilità. In particolare la permeabilità orizzontale della diga è aumentata, favorendo, soprattutto in primavera in concomitanza con lo scioglimento del ghiaccio, la comparsa di zone bagnate sul paramento di valle che si estendono dal piede della diga fino ad 1 m di altezza, per buona parte del suo sviluppo longitudinale. In alcune di queste zone si sono osservate piccole fratture superficiali, anche se non si sono osservati significativi movimenti del pendio. Sono state quindi intraprese misure preventive contro l'erosione potenziale, che hanno prodotto la scomparsa delle zone bagnate in alcune parti delle zone interessate. Anche in questo caso, l'evoluzione del fenomeno è sotto costante osservazione.
- c) Lo spessore della scogliera di pietrame a protezione del paramento di monte si è rivelato insufficiente, in quanto la scogliera è stata danneggiata in molte zone e ha richiesto consistenti lavori di ripristino per quelle maggiormente danneggiate.
- d) Nel caso in cui si verificassero i più gravosi eventi di piena ( $Q_{100}$ ,  $Q_{1000}$ ) e di conseguenza il livello dell'acqua in corrispondenza dell'ingresso del canale di adduzione risultasse così elevato da impedirne la chiusura, il serbatoio si riempirebbe molto rapidamente e l'acqua potrebbe tracimare dalla diga. Il livello idrico del serbatoio in caso di piena non è controllato adeguatamente.
- e) In diversi pozzi piezometrici situati immediatamente a valle della diga sono stati misurati anomali valori del livello dell'acqua (fino a 0.5 m sopra il livello del terreno) e sono state osservate piccole sorgenti. Anche in questo caso sono state intraprese misure preventive contro l'erosione e i punti più critici sono stati opportunamente monitorati.
- f) Durante gli inverni più freddi sono comparse alcune fratture longitudinali sul coronamento e il fronte del ghiaccio è penetrato fin a 0.4 m al disotto del massimo livello d'invaso. Sono state quindi messe in atto le opportune misure preventive.
- g) La funzionalità del filtro drenante di valle potrebbe essere compromessa da sedimenti rugginosi prodotti dall'alto contenuto di ferro nell'acqua del serbatoio.
- h) In alcune occasioni la funzionalità delle paratoie e degli sfioratori è stata impedita a causa della presenza di detriti (ghiaccio o torba).
- i) Durante i massimi eventi di piena è possibile che i sistemi elettrici non funzionino e che la centrale idroelettrica debba essere chiusa. In questo caso non è possibile far fluire l'acqua attraverso le turbine.

### **6.3 Determinazione qualitativa del rischio (identificazione dei modi di collasso)**

Sulla base degli elementi critici indicati in precedenza esistente una qualche probabilità che la diga possa crollare a seguito dei seguenti eventi:

- piene che possono comportare la tracimazione e l'erosione esterna;
- erosione interna causata dal moto di filtrazione attraverso e al disotto del nucleo della diga;
- riduzione della stabilità della diga a causa della disomogeneità del nucleo e del mal funzionamento dei filtri drenanti;
- eventi sismici;
- atti di sabotaggio e atti vandalici

La penetrazione del gelo dal coronamento è stata ridotta considerevolmente innalzando il livello del coronamento stesso e mediante interventi di isolamento termico. Per questo motivo non ci si attendono in futuro problemi dovuti al gelo. Anche la probabilità di erosione esterna dovuta all'insufficiente spessore della scogliera è considerata trascurabile in ragione delle periodiche ispezioni e dei lavori di ripristino eseguiti. Delle parti in calcestruzzo si è detto, mentre il rischio di tracimazione dovuto al blocco delle

paratoie o degli sfioratori è considerevolmente ridotto dalla presenza di due soglie naturali che possono evacuare una portata superiore a quella di deflusso del serbatoio. Le ispezioni regolari ed annuali diminuiscono le probabilità di collasso strutturale, in particolare di quello dovuto ai fenomeni di erosione.

#### **6.4 Determinazione quantitativa del rischio**

La probabilità degli eventi riportati nelle figure 6.4-6.5 sono state stimate con il concorso di tutti i tecnici locali sulla base di criteri di confidenza soggettiva che associano descrizioni verbali dell'incertezza a valori di probabilità/Hoeg, 1996/ e sull'ampia statistica disponibile sul comportamento delle dighe.

La probabilità complessiva di collasso è stata stimata sulla base dei risultati forniti dall'applicazione sistematica del metodo Bishop semplificato. La pressione interna nel nucleo è stata stimata basandosi sulle misure dei piezometri collocati al suo interno. Il rapporto tra la permeabilità orizzontale e quella verticale considerato è pari a 25. Si sono inoltre considerate le due possibilità che il filtro di base sia "funzionante" o "non funzionante". Si è assunto inoltre che, sulla base delle più recenti stime, il livello del serbatoio non possa superare il livello di 81.75 m s.m.

Il minore fattore di sicurezza ottenuto nel caso di filtro "funzionante" è risultato  $F = 2.33$ , mentre nel caso di filtro "non funzionante" è risultato  $F = 1.86$ .

La stima della probabilità di collasso è stata ottenuta analizzando la dispersione dei valori del fattore di sicurezza ottenuti con diverse combinazioni di valori di coesione e di angolo di attrito. Sono state fatte diverse ipotesi circa il tipo di distribuzione di probabilità da utilizzare, optando infine per la distribuzione T, che nel caso di filtro "funzionante" ha fornito un valore di probabilità pari a  $5 \times 10^{-4}$ , mentre nel caso di filtro "non funzionante" ha fornito un valore pari a circa  $10^{-5}$ .



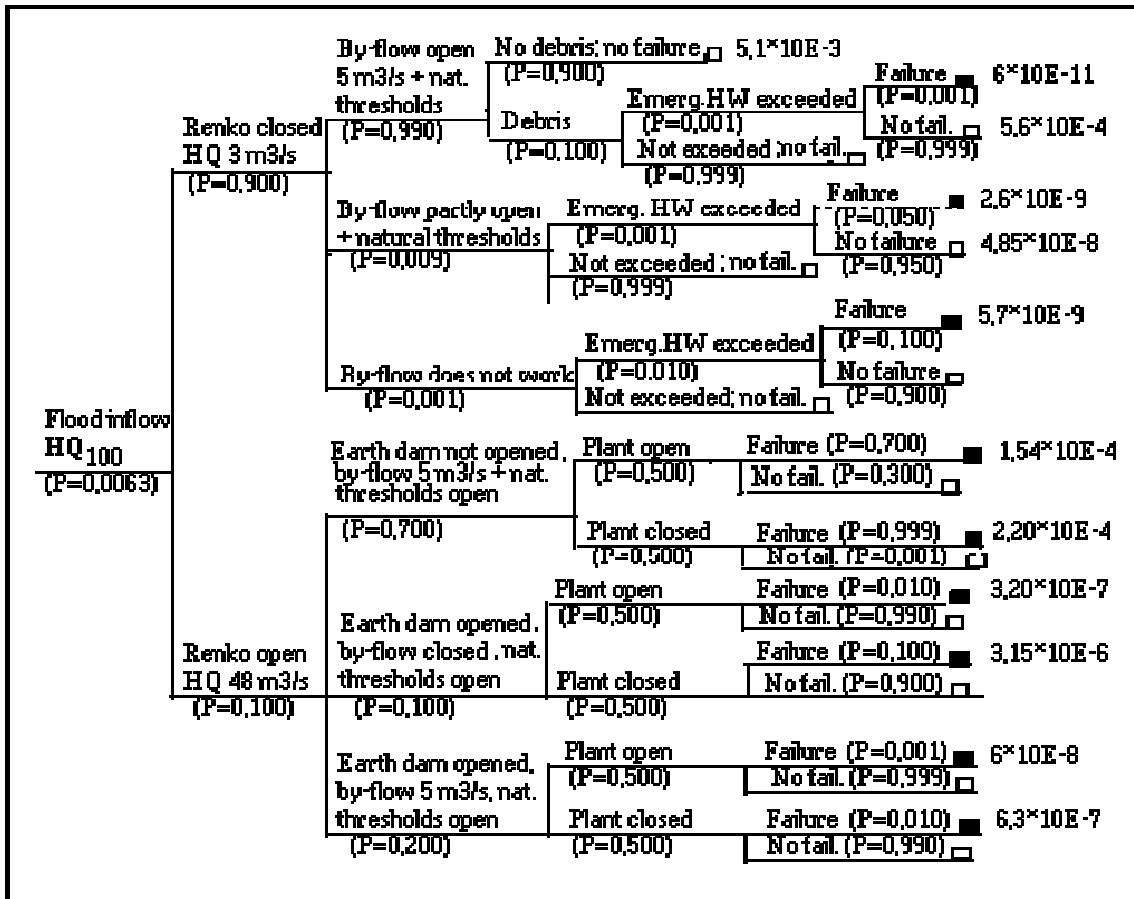


Figura 6.4 – Albero degli eventi idrologici

Dall'osservazione degli alberi degli eventi rappresentati nelle figure 6.4÷6.6, le più elevate probabilità di collasso sono associate all'evento di piena concomitante al canale di adduzione aperto e agli scarichi della diga chiusi ( $\sim 2 \times 10^{-4}$ ). Se gli scarichi della diga fossero aperti la probabilità di collasso scende a circa  $6 \times 10^{-7} \dots 3 \times 10^{-6}$ , a seconda che la centrale idroelettrica sia funzionante o no.

Se il canale fosse chiuso la probabilità di collasso scende ancora a circa  $3 \times 10^{-9} \dots 5 \times 10^{-8}$ .

Per quanto riguarda l'erosione interna la probabilità è dell'ordine di  $10^{-5}$ . Nel caso invece di difetti strutturali la probabilità di collasso risulta pari a  $10^{-5} \dots 10^{-4}$ , a seconda che il sistema drenante sia efficiente o no. Nel caso di terremoti, sabotaggio e atti vandalici la probabilità di collasso è dell'ordine di  $10^{-6} \dots 10^{-5}$ .

La probabilità totale di collasso, ottenuta sommando i valori delle probabilità di collasso relative ai singoli eventi, risulta pertanto pari a  $1,36 \times 10^{-4}$ , nel caso che il canale di adduzione sia chiuso, e a  $5,14 \times 10^{-4}$  nel caso il canale sia aperto.

Questi risultati sono in buon accordo con le statistiche relative al collasso strutturale delle dighe di questa tipologia strutturale.

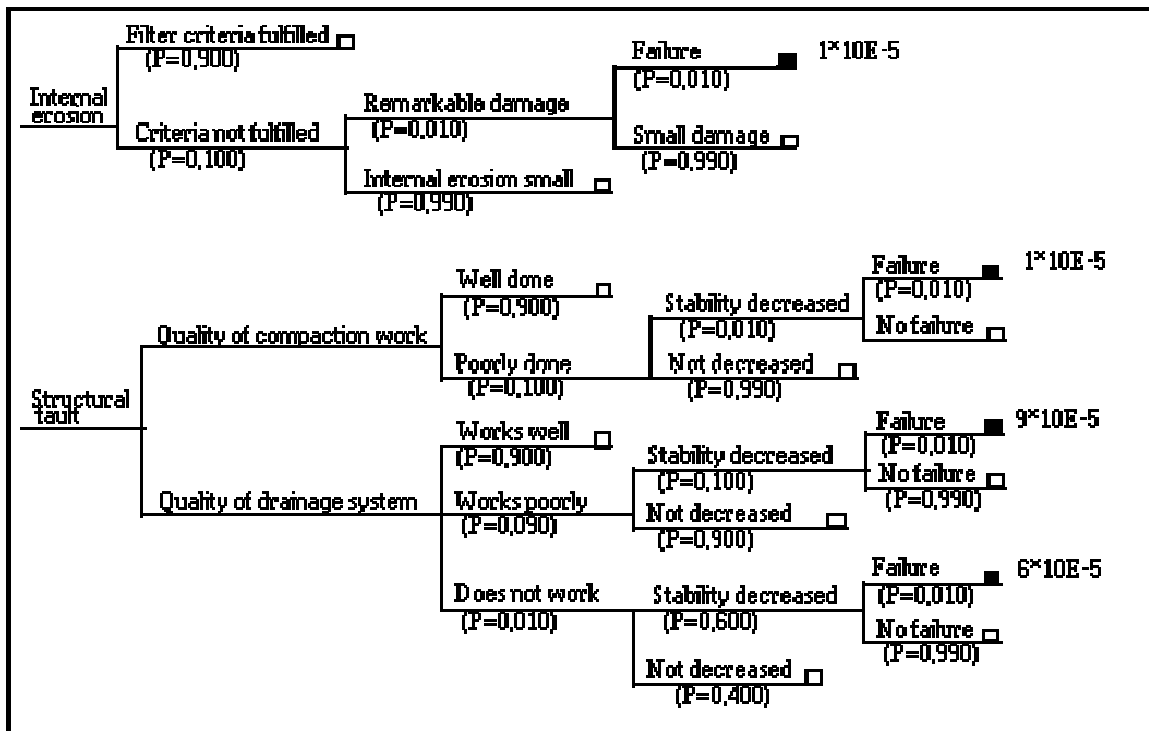


Figura 6.5 – Albero degli eventi per l’erosione interna e per i difetti strutturali

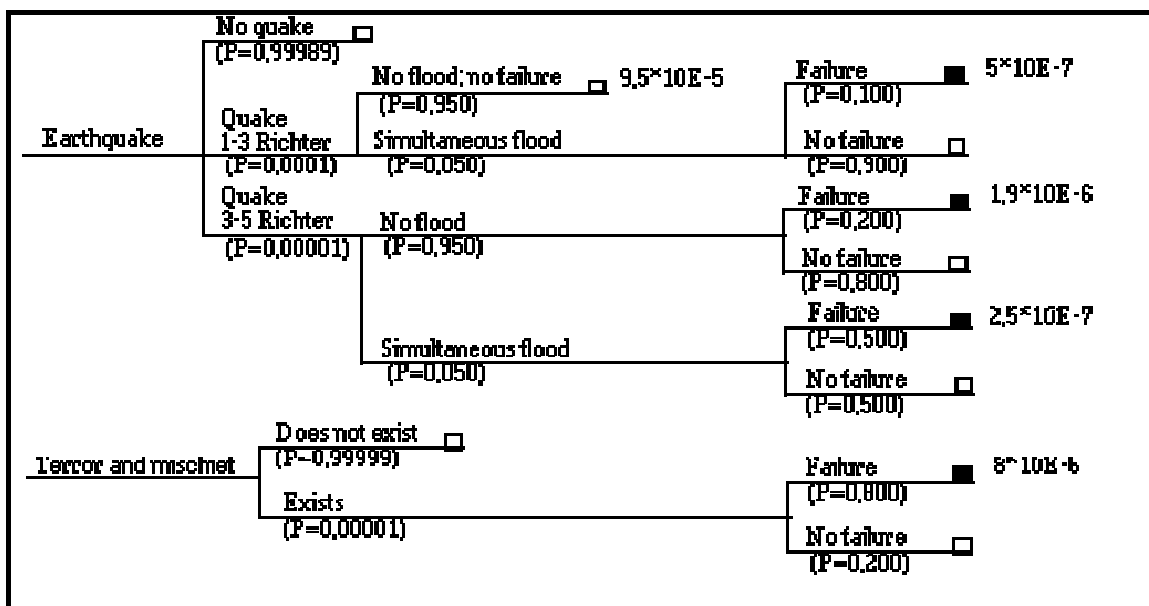


Figura 6.6 – Albero degli eventi per sisma, sabotaggio e atti vandalici

## 6.5 Valutazione del rischio

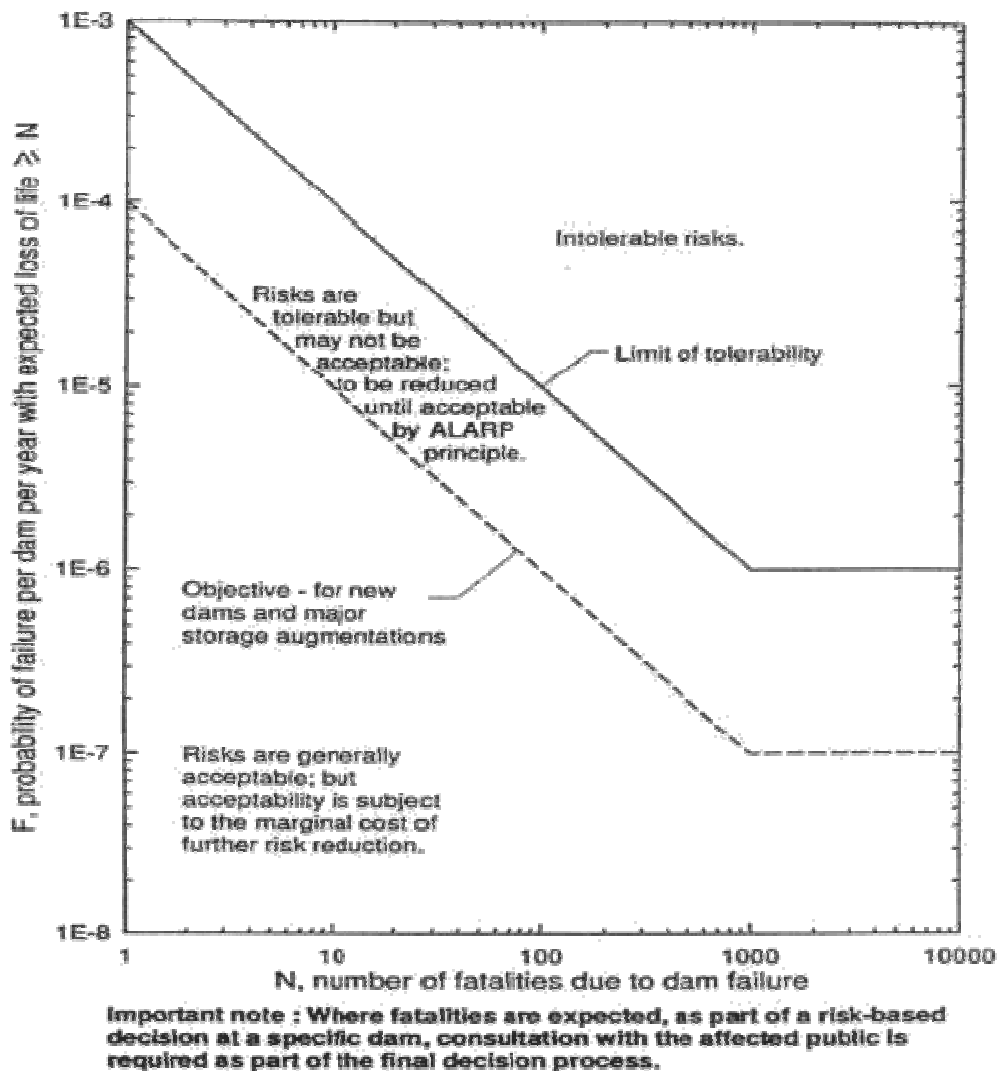
Secondo il regolamento finlandese la diga soddisfa i requisiti di sicurezza ( $F \leq 1.5$ ) anche nei casi più sfavorevoli. Tuttavia il regolamento non fornisce valide linee-guida sui livelli di rischio accettabile.

Considerando ad esempio i criteri forniti dalle linee-guida ANCOLD, 1994 per la valutazione del rischio sociale accettabile per le dighe esistenti, nel caso in esame la probabilità di collasso associata ad uno “specifico evento” non dovrebbe superare  $10^{-6} \dots 10^{-5}$ , a seconda del numero di fatalità previste. Come abbiamo visto in precedenza la diga in esame soddisfa questo requisito quando il canale d’adduzione è chiuso o gli

scarichi della diga sono aperti e il sistema drenante funziona correttamente. Per quanto riguarda l'erosione interna il requisito è soddisfatto solo se si eseguono attente e frequenti ispezioni, mentre la probabilità di collasso dovuta ad eventi sismici, sabotaggio e atti vandalici rientra nel livello accettabile.

Nel caso si consideri il criterio di rischio "totale" atteso su base annuale di perdite umane, come definito da ANCOLD (Fig. 6.7) la diga di rientra nei limiti di accettabilità.

Il criterio per determinare la probabilità di collasso accettabile per i rischi economici dipende naturalmente dalle attività presenti nell'area interessata, ma, essendo ovviamente il limite accettabile più elevato (uno o due ordini di grandezza se non vengono prodotti danni irreparabili all'ambiente) di quella prevista nel caso di perdita di vite umane, può considerarsi soddisfatto.



**Figura 6.7 – Criteri per la valutazione dei rischi sociali accettabili/ANCOLD, 1998**

Si deve inoltre considerare che il piano di emergenza della diga prevede l'estrema possibilità di aprire breccie nella diga in corrispondenza di due sezioni verticali alte solamente 1.0...1.5 m, e in questo caso, in accordo con Lemperiere (1999), è possibile dividere il valore stimato della probabilità di collasso per un fattore 5...10.

In definitiva si può concludere che il livello di sicurezza della diga di Kyrkösjärvi può considerarsi accettabile a condizione che:

- il canale di adduzione sia chiuso e l'altezza della diga sia sufficiente a prevenire la tracimazione in caso di piene eccezionali;

- il programma di ispezioni periodiche sia rigorosamente rispettato;
- i danni strutturali osservati dovuti ad erosione esterna ed interna siano riparati quanto prima;
- siano messe in atto opportune misure di prevenzione nei confronti della presenza di detriti nel serbatoio;
- le soglie naturali siano lasciate aperte;
- si sia preparati ad aprire le brecce previste in caso di piene eccezionali;
- sia mantenuta l'operabilità della centrale idroelettrica in caso di piena.

## 7. GLI ASPETTI SOCIO-ECONOMICI DELLA GESTIONE INTEGRATA DEL RISCHIO NEL SETTORE DELLE DIGHE: IL CONTRIBUTO DELLA CERTIFICAZIONE AMBIENTALE

### 7.1 L'importanza di un approccio integrato nella gestione del rischio nelle dighe

La gestione dei rischi e degli impatti ambientali nel comparto degli sbarramenti idrici è caratterizzata da alcuni fenomeni consolidati: la trasformazione della natura dell'impatto che diviene sempre più complesso e multidimensionale, l'esigenza di un approccio integrato alla gestione dell'impatto stesso, la crescente rilevanza degli interventi di carattere volontario da parte dei gestori, il valore di strategie partecipate elaborate in un rapporto sistematico con gli attori socioeconomici ed istituzionali del territorio ospite.

Il quadro è quindi segnato dall'affermarsi di un approccio preventivo alla gestione di tutti i rischi e dal superamento delle pratiche compensatorie come linea esclusiva di intervento.

A fronte di questo scenario, alcune *best practices* studiate nel lavoro sui casi di Aem Valtellina, Ridracoli, e Velia<sup>15</sup> hanno consentito di porre in evidenza azioni di gestione particolarmente innovative (p. es. la definizione su base volontaria e concertata delle politiche relative ai sovracanonici) e una tendenza complessiva all'integrazione delle azioni di gestione dell'impatto della diga, e, in generale, delle azioni di gestione del rapporto diga/territorio.

La nozione di integrazione emerge, su un piano generale, come riferimento privilegiato del nuovo approccio alla gestione del rischio (e più in generale delle problematiche ambientali) nelle dighe. L'integrazione rimanda:

- all'*intersectorialità*, e quindi all'esistenza di un approccio che sia capace di superare la separazione in comparti non comunicanti degli ambiti di intervento e che miri, invece, in una prospettiva sistemica, a considerare ex ante le possibilità di attivare relazioni sinergiche tra piani di azione distinti. Il riferimento è sia alle possibilità di integrazione tecnico-gestionale tra azioni messe in campo in spazi fisici od operativi diversi (ad esempio azioni di valorizzazione dell'ittiofauna predisposte sia a monte, sia a valle della diga) sia, sul piano strategico, alle relazioni tra ambiti di intervento strettamente legati come quelli della pianificazione ambientale e delle politiche territoriali.
- alla *contestualità*, e quindi l'attenzione sistematica al raccordo con gli attori socio-economici e istituzionali del territorio e alla progettazione partecipata degli interventi.

In questo quadro, la certificazione volontaria dei sistemi di gestione ambientale (secondo il regolamento europeo EMAS o la norma internazionale ISO 1400) si costituisce come strumento di policy di notevole rilevanza, capace di contribuire in maniera significativa all'evoluzione della gestione dei rischi e dell'impatto ambientale e territoriale delle dighe.

Nonostante le problematiche ambientali considerate nelle esperienze di certificazione in Italia - il riferimento è, in particolare, come si vedrà nel seguito, alla registrazione EMAS degli impianti idroelettrici della Valle del Cordevole e del sito dell'Avisio - si concentrino prevalentemente su tipologie di rischio (come il rischio di incendio o di contaminazione dell'ambiente) diverse dal rischio di collasso (o di incidente grave, come la tracimazione o

---

<sup>15</sup>Ricadute socioeconomiche delle dighe sul territorio ospite. Evidenze del caso italiano

il superamento della capacità degli organi di scarico), la certificazione è in grado di introdurre una serie di strumenti e di metodologie utili per il trattamento di tutte le tipologie di rischi connesse alle dighe, specie con riguardo alle implicazioni di natura socio-territoriale.

## **7.2 Il ruolo della certificazione ambientale nella gestione e nella comunicazione del rischio: introduzione ad EMAS**

### **7.2.1 L'evoluzione della certificazione ambientale<sup>16</sup>**

L'evoluzione recente delle politiche di sostenibilità ambientale è caratterizzata dall'incontro tra due percorsi: quello, complesso e faticoso, verso il superamento del "command e control" come stile privilegiato di intervento e quello verso l'abbandono di approcci settoriali, in vista di un trattamento sistematico ed integrato delle variabili ambientali.

In questo quadro, lo sviluppo dei sistemi di gestione ambientale e della loro certificazione su base volontaria sono oggetto da alcuni anni di un'attenzione crescente.

La certificazione ambientale tende ad occupare un ruolo sempre più centrale sulla scena delle politiche ambientali. La nuova centralità della certificazione ambientale si accompagna, peraltro, all'ampliamento delle possibilità di integrazione con altri ambiti di intervento.

Un primo, ormai consolidato, piano di integrazione rimanda alle sinergie, in ambito di impresa, tra certificazione ambientale, certificazione di qualità e gestione sistematica della sicurezza e, su un altro piano, tra certificazione dei sistemi di gestione e certificazione della qualità ecologica dei prodotti.

Un secondo ambito di integrazione concerne la dimensione "territoriale" della certificazione e quindi l'estensione delle sue logiche e dei suoi strumenti al di fuori dei confini dell'impresa, in una prospettiva di sempre più stretta relazione con strumenti tradizionali di pianificazione territoriale.

Su un piano generale, inoltre, la promozione della certificazione da parte del *policy maker* pubblico tende ad integrarsi con altre leve di policy (normativa, incentivi, accordi volontari), segnalando un ulteriore spazio di complessificazione e ulteriori possibilità di sviluppo.

In questo scenario, lo sviluppo di EMAS rappresenta uno dei momenti più significativi e più densi, in termini di opportunità di crescita culturale e di trasformazione morfogenetica della certificazione.

### **7.2.2 Introduzione ad EMAS**

EMAS (Eco-management and Audit Scheme) è stato istituito con il Regolamento 1836/1993, ora sostituito integralmente dal Regolamento 761/2001 del 26 Marzo 2001 (che istituisce EMAS II). Al sistema possono aderire gli Stati membri dell'Unione europea e dello spazio economico europeo (Norvegia, Islanda e Liechtenstein).

Al nuovo regolamento (che contiene un consistente corpus di allegati tecnici) si sono affiancate, nel settembre del 2001, una serie di Decisioni e di Raccomandazioni della Commissione Europea, volte a chiarire alcuni aspetti del regolamento stesso ed a fornire indicazioni sulla sua applicazione.

Ripercorriamo, allora, brevemente, alla luce del nuovo regolamento, i passaggi fondamentali del processo che conduce alla registrazione di un'organizzazione.

Per ottenere la registrazione EMAS un'organizzazione, in conformità alle disposizioni del Regolamento 761/2001, deve:

---

<sup>16</sup> Il paragrafo 2 riprende alcune argomentazioni sviluppate in Doria (2002a).

a) procedere ad un'approfondita *analisi ambientale iniziale* delle proprie attività e dei siti in cui opera. L'analisi iniziale prende in considerazione tutti gli aspetti ambientali<sup>17</sup> connessi con l'attività svolta e con i prodotti e servizi forniti da un'organizzazione, per evidenziare quelli più rilevanti. L'analisi iniziale deve, in particolare, individuare i requisiti legislativi o regolamentari, identificare e analizzare tutti gli aspetti ambientali connessi con l'attività svolta e con i prodotti e servizi forniti, valutare tali aspetti e selezionare quelli significativi. L'attività analitica deve inoltre rivolgersi alle prassi ed alle procedure relative alla gestione ambientale già esistenti e valutare gli insegnamenti tratti dall'analisi degli incidenti ambientali occorsi.

Infine è necessario predisporre una relazione di sintesi delle attività condotte e dei relativi risultati.

Il Regolamento stabilisce che “*un'organizzazione deve considerare tutti gli aspetti delle sue attività e dei suoi prodotti e servizi e decidere, sulla base di criteri da essa stessa definiti, quali aspetti abbiano un impatto importante*” (All. VI, punto 6.1).

La definizione dei criteri sulla base dei quali attribuire la significatività agli aspetti ambientali rappresenta, quindi, un momento fondamentale dell'analisi iniziale.

Secondo la lettera del Regolamento, i criteri devono essere “*generali, verificabili ad un controllo indipendente, riproducibili e resi pubblicamente disponibili*” (All. VI, punto 6.4). Il requisito fondamentale concerne la ripercorribilità (da parte di un soggetto esterno, ed in particolare, del verificatore) del processo analitico che ha condotto l'organizzazione alla valutazione di significatività degli aspetti.

b) definire la propria *politica ambientale*, cioè l'insieme degli obiettivi e dei principi generali di azione che intende perseguire in materia di ambiente e, sulla base della politica, un *programma ambientale* costituito dall'insieme delle misure che l'organizzazione deve adottare per realizzare la politica stessa. Nello spirito del regolamento, la definizione della politica è un processo che deve vedere il coinvolgimento diretto del top management dell'organizzazione, e deve condurre ad un documento coerente con l'insieme dei principi, degli obiettivi strategici e delle *mission* dell'organizzazione stessa. Nel caso si tratti di organizzazioni complesse (ad esempio organizzazioni multinazionali e/o multisito) la politica ambientale deve inoltre integrarsi con quella dell'organizzazione madre. Sulla base della politica viene redatto un programma ambientale che deve essere approvato dalla direzione dell'organizzazione. Esso descrive, per ciascun obiettivo di miglioramento definito, le misure (le responsabilità e i mezzi) che l'organizzazione intende mettere in atto per il suo raggiungimento e le relative scadenze (Allegato I, punto A.3.4).

c) predisporre un *sistema di gestione ambientale* complessivo finalizzato al rispetto della legislazione ambientale (la conformità normativa è una condizione necessaria per la registrazione) ed al raggiungimento degli obiettivi stabiliti nel programma ambientale. Un sistema di gestione ambientale, secondo la definizione dell'ISO (*International Standardisation Organisation*) è quella parte del sistema di gestione complessivo di un'organizzazione che comprende la struttura organizzativa, le attività di pianificazione, le responsabilità, le prassi, le procedure e le risorse per sviluppare, implementare e riesaminare periodicamente la politica ambientale; le dimensioni operative coinvolte riguardano, quindi, l'assetto organizzativo, le iniziative di coinvolgimento, sensibilizzazione e formazione, la definizione delle modalità di lavoro, la misurazione ed il controllo degli aspetti ambientali, la comunicazione all'interno ed all'esterno dell'organizzazione, il mantenimento ed il controllo della documentazione.

---

<sup>17</sup> In ambito EMAS, si definisce aspetto ambientale qualsiasi “elemento delle attività, dei prodotti e dei servizi di un'organizzazione che può interagire con l'ambiente” e impatto ambientale qualsiasi “modifica dell'ambiente, positiva o negativa, derivante in tutto o in parte dalle attività, dai prodotti o dai servizi di un'organizzazione”

d) definire ed implementare *programmi di auditing*, finalizzati a verificare periodicamente l'efficienza del sistema di gestione ambientale. L'organizzazione deve procedere alla valutazione della capacità del sistema di seguire i principi di miglioramento ambientale definiti nella politica e il perseguimento degli obiettivi e dei traguardi stabiliti nel programma ambientale. Il Regolamento definisce l'audit ambientale uno "*strumento di gestione comprendente una valutazione sistematica, documentata, periodica ed obiettiva delle prestazioni dell'organizzazione, del sistema di gestione e dei processi destinati a proteggere l'ambiente al fine di:*

i) *facilitare il controllo gestionale dei comportamenti che possono avere un impatto sull'ambiente;*

ii) *valutare la conformità alla politica ambientale compresi gli obiettivi e i traguardi ambientali dell'organizzazione (allegato II)".*

Il Regolamento prevede, infine, che "*l'alta direzione dell'organizzazione riesamini, ad intervalli determinati, il sistema di gestione ambientale, per assicurarsi che continui ad essere adeguato ed efficace*" (Allegato I.A, punto 6).

All'auditing dell'efficienza del sistema di gestione si affianca, quindi, un riesame periodico del sistema stesso svolto dal top management dell'organizzazione (sulla base di una tempistica definita dal top management stesso). L'attività di riesame deve valutare l'opportunità di modificare la politica, gli obiettivi e gli altri elementi dei sistemi di gestione ambientale, alla luce dei risultati degli audit, degli eventuali cambiamenti del contesto di azione dell'organizzazione e degli stimoli forniti dall'impegno al *miglioramento continuo delle performances ambientali* (che è uno dei cardini concettuali di EMAS). Attraverso l'attività di riesame, la Direzione verifica *l'attualità* degli impegni espressi nella politica rispetto all'evolversi delle condizioni ambientali dell'organizzazione, valuta il raggiungimento degli obiettivi di miglioramento delle prestazioni ambientali e, infine, analizza la coerenza degli obiettivi rispetto agli impegni assunti e la congruenza dei mezzi e dei tempi destinati rispetto a quelli necessari.

e) elaborare una *dichiarazione ambientale*, capace di comunicare in maniera esaustiva, sintetica e comprensibile anche ad un pubblico di non esperti, gli impatti ambientali dell'organizzazione e gli obiettivi di miglioramento che l'organizzazione vuole raggiungere. La dichiarazione ambientale è un insieme di informazioni riguardanti l'organizzazione e la sua attività, gli impatti che tali attività hanno sull'ambiente, le modalità adottate per il perseguimento di migliori prestazioni ambientali ed i relativi risultati, nonché l'enunciazione degli obiettivi e dei programmi definiti per il futuro. I requisiti di chiarezza e coerenza (allegato III, p.1.1.) da un lato, e di concisione dall'altro (si veda la relativa Raccomandazione della Commissione) possono essere letti come suggerimenti volti - oltre che a semplificare il lavoro di redazione per le organizzazioni di minori dimensioni - a consentire una piena comprensione anche ad un lettore privo di conoscenze tecniche.

f) fare esaminare la propria analisi ambientale, il sistema di gestione ambientale, la procedura di audit e la dichiarazione ambientale ad un *Verificatore Ambientale* (indipendente dall'impresa e accreditato da un apposito organismo nazionale) affinché quest'ultimo convalidi la dichiarazione ambientale;

g) trasmettere la dichiarazione ambientale convalidata all'Organismo Competente dello Stato membro in cui è situata l'organizzazione (per l'Italia è la Sezione EMAS Italia del Comitato Ecolabel-Ecoaudit) per ottenere la *registrazione EMAS* dell'organizzazione.

Quest'ultima, una volta ottenuta la registrazione, può utilizzare, nelle forme previste dal regolamento il logo ufficiale EMAS.

h) mettere a *disposizione del pubblico* la dichiarazione ambientale convalidata.

### **7.2.3 Le novità di EMAS II**



La revisione del 2001 ha introdotto diverse novità; tra queste particolarmente rilevante è l'estensione della gamma delle organizzazioni che possono essere registrate.

Mentre EMAS I era rivolto sostanzialmente alle imprese industriali, in EMAS II possono essere registrate organizzazioni operanti in tutti i settori (possibilità già consentita dallo standard ISO 14001). L'oggetto della registrazione non è più il *sito* industriale ma l'*organizzazione*, intesa come società, azienda, impresa, autorità o istituzione o parte o combinazione di essi, con o senza personalità giuridica pubblica o privata, che abbia amministrazione e funzioni proprie.

La Decisione sulle "Entità da registrare" della Commissione Europea identifica diverse fattispecie di organizzazioni che possono ottenere la registrazione, fornendo per ogni fattispecie una serie di indicazioni operative :

1. Organizzazioni che operano in un solo sito
2. Organizzazioni che operano in più siti
  - a) con lo stesso o simile prodotto o servizio
  - b) con differenti prodotti o servizi
3. Organizzazioni per le quali non può essere definito un vero e proprio sito
4. Organizzazioni che controllano siti temporanei
5. Organizzazioni indipendenti che si registrano come un'unica comune organizzazione
6. Piccole imprese che operano in un vasto territorio e producono gli stessi o simili prodotti o offrono gli stessi o simili servizi
7. Autorità locali e istituzioni governative

La possibilità di applicare lo schema ad una gamma molto estesa di organizzazioni (tra cui le autorità locali, i distretti industriali e i poli turistici) rappresenta evidentemente una delle novità più rilevanti di EMAS II (Doria, 2002).

#### **7.2.4 EMAS II e ISO 14001**

L'allegato I di EMAS II al punto A *incorpora integralmente la sezione 4 della ISO 14001 inerente il sistema di gestione ambientale*, riconoscendo una corrispondenza di fatto degli elementi che compongono il sistema e del suo processo di implementazione.

La ricezione da parte di EMAS di elementi importanti del sistema ISO razionalizza i rapporti tra i due strumenti, evita il rischio della duplicazione del lavoro da parte delle organizzazioni e consente, inoltre, di meglio evidenziare le differenze. Queste ultime riguardano:

– *la natura dei due sistemi*: EMAS è uno schema promosso dalla Commissione Europea gestito con il coinvolgimento degli organismi nazionali preposti alle politiche ambientali, fondato sull'intervento di verificatori accreditati da organismi di natura pubblica. ISO rappresenta, invece, un sistema di normazione internazionale a carattere volontario di tipo privatistico (in quanto governato dalle imprese e dalle associazioni che le rappresentano);

– *i principali destinatari*: EMAS ha come audience privilegiata l'opinione pubblica e le istituzioni preposte al controllo dell'ambiente, mentre il principale (anche se non esclusivo) destinatario della certificazione ambientale secondo le norme ISO è il mercato. In coerenza con la caratterizzazione pubblica dello schema, la dichiarazione ambientale di EMAS (ISO 14001 prevede che solo la politica sia resa pubblica) rappresenta uno strumento integrato di comunicazione al pubblico di un insieme complesso di informazioni relative alla situazione, agli obiettivi ed al percorso di gestione ambientale dell'organizzazione.

Altri campi in cui il carattere "pubblico" di EMAS si manifesta concernono le modalità di trattamento della questione della conformità legislativa, il senso in cui è assunto l'obiettivo

del miglioramento delle prestazioni ambientali, l'enfasi sulla partecipazione ed il coinvolgimento dei dipendenti.

### **7.2.5 Verso un approccio integrato: la rilevanza degli aspetti indiretti**

L'interpretazione del rapporto tra aspetti *diretti* e *indiretti* e la definizione di questi ultimi costituisce senza dubbio una delle questioni più delicate e importanti nell'applicazione di EMAS.

L'individuazione degli aspetti diretti e indiretti richiede, infatti, uno sforzo significativo in termini di rimodulazione degli strumenti di analisi e di valutazione e di gestione di dinamiche relazionali che oltrepassano i confini dell'organizzazione.

Per il Regolamento gli aspetti indiretti sono quegli aspetti sui quali l'organizzazione ha un controllo solo parziale e che quindi si manifestano anche per il contributo (consapevole o meno) di almeno un altro soggetto diverso dall'organizzazione – di seguito denominato soggetto intermedio - con il quale quest'ultima condivide il controllo gestionale.

Il Regolamento offre due elenchi degli aspetti ambientali diretti e indiretti (All. VI).

Per quanto concerne gli aspetti diretti, il Regolamento chiede che l'organizzazione tenga conto *almeno* dei seguenti:

- a) emissioni nell'aria,
- b) scarichi nell'acqua,
- c) limitazione, riciclaggio, riutilizzo, trasporto e smaltimento dei rifiuti,
- d) uso e contaminazione del terreno,
- e) uso delle risorse naturali e delle materie prime (compresa l'energia),
- f) questioni locali (rumore, vibrazioni, odore, polvere, impatto visivo, ecc.),
- g) questioni di trasporto (per le merci, i servizi e i dipendenti),
- h) rischio di incidenti ambientali e di impatti sull'ambiente conseguenti,
- i) effetti sulla biodiversità.

L'elenco, anch'esso non esaustivo, degli aspetti indiretti annovera i seguenti:

- a) questioni relative al prodotto (progettazione, sviluppo, trasporto, uso e recupero/smaltimento dei rifiuti);
- b) investimenti, prestiti e servizi di assicurazione;
- c) nuovi mercati;
- d) scelta e composizione dei servizi (ad esempio, trasporti e ristorazione);
- e) decisioni amministrative e di programmazione;
- f) assortimento dei prodotti;
- g) bilancio e comportamenti ambientali degli appaltatori, dei subappaltatori; e dei fornitori.

La Raccomandazione sulla valutazione degli aspetti ambientali sottolinea, però, che ciò che è importante non è catalogare un aspetto come diretto o indiretto, bensì assicurarsi che "tutti gli aspetti siano stati identificati, in modo da poter essere gestiti dal sistema". A tal fine il Regolamento suggerisce (punto 6.3 dell'allegato VI) che il processo di identificazione e valutazione si basi sull'analisi della capacità dell'organizzazione di influenzare l'aspetto analizzato. In altre parole, occorre soprattutto valutare quale livello di controllo o di influenza l'organizzazione possa esercitare (ed effettivamente eserciti) sul singolo aspetto; questa valutazione, insieme a quella relativa agli impatti ambientali connessi, può consentire di stabilire la significatività dell'aspetto indiretto.

Un possibile schema logico per l'identificazione degli aspetti ambientali indiretti è il seguente (Iraldo, 2001):

- identificazione delle attività che possono interagire con l'ambiente in modo indiretto,
- identificazione del soggetto intermedio coinvolto nelle interazioni,

– analisi delle modalità attraverso cui si manifesta l’interazione indiretta con l’ambiente e identificazione del livello di controllo.

Gli aspetti indiretti così identificati e analizzati possono essere distinti in:

– *aspetti indiretti di primo livello*: sono gli aspetti riconducibili ad attività di soggetti esterni all’organizzazione che operano per suo conto; l’organizzazione è in grado di progettare, coordinare e sorvegliare con proprio personale tali attività;

– *aspetti indiretti di secondo livello*: sono gli aspetti connessi alle attività dell’organizzazione che ne oltrepassano i confini e sono direttamente controllati da soggetti terzi; i comportamenti di tali soggetti sono solo influenzabili da parte dell’organizzazione.

Una volta classificati gli aspetti indiretti secondo la ripartizione proposta, si procede alla valutazione di significatività. Una possibilità è quella di incrociare la valutazione della significatività “intrinseca” degli impatti ambientali prodotti con la valutazione del controllo gestionale effettivamente riscontrato al momento dell’analisi iniziale.

Si tratta, quindi, in una prima fase della valutazione, di analizzare la significatività “intrinseca” dell’aspetto ambientale, prescindendo da quale sia il soggetto che esercita il controllo e dal livello di controllo esercitato.

Laddove non sia possibile ottenere dati e informazioni utili alla valutazione di significatività secondo lo stesso approccio adottato per gli aspetti diretti, si applicheranno criteri qualitativi sotto elencati, secondo cui un aspetto ambientale indiretto potrà essere giudicato più o meno significativo in relazione a (Iraldo, 2001):

– risultati derivanti da studi o dalla letteratura;

– indicazioni fornite dal soggetto esterno (ad esempio nel caso in cui abbia un sistema di gestione ambientale);

– sensibilità accertata degli interlocutori e degli *stakeholders*.

Per quanto riguarda la valutazione del controllo gestionale, i criteri di valutazione potrebbero essere relativi al grado di controllo dell’aspetto o di sorveglianza dei soggetti esterni (per gli aspetti indiretti di primo livello) o al livello di responsabilizzazione/coinvolgimento dei soggetti esterni (per gli aspetti indiretti di secondo livello). Una simile valutazione permetterà di operare una classificazione degli aspetti indiretti capace di condurre alla definizione di un ordine di priorità nella pianificazione delle misure volte a ridurre la significatività degli aspetti indiretti.

L’enfasi sugli aspetti indiretti si inserisce in un quadro complessivo di evoluzione dei cardini concettuali e metodici della certificazione. Tale evoluzione configura il passaggio della certificazione ambientale da strumento di matrice sostanzialmente tecnica a campo di policy complesso e sempre più connotato in senso politico.

Le decisioni e le Raccomandazioni della Commissione Europea che accompagnano EMAS II prevedono, ad esempio, (nel caso delle amministrazioni pubbliche, ma l’indicazione è estensibile a tutte le applicazioni del regolamento in ambito territoriale) che le attività di un’organizzazione da valutare in prospettiva EMAS riguardano direttamente la gestione e la pianificazione del territorio ed il piano dei rapporti tra la sostenibilità ambientale e la promozione della qualità della vita.

### **7.2.6 L’importanza della partecipazione e della comunicazione**

Un versante sempre più importante dello scenario delle politiche ambientali è quello della comunicazione e la partecipazione degli *stakeholders*.

Alcuni momenti fondamentali dell’evoluzione dei processi di comunicazione e partecipazione riguardano:

- il passaggio da una comunicazione episodica, settoriale, rivolta ad un’audience di esperti ad una comunicazione per la sostenibilità, che contribuisca alla co-

responsabilizzazione e alla partecipazione attiva dei vari attori rispetto problemi, opportunità, rischi e responsabilità, in direzione di una piena “cittadinanza ambientale”

- il superamento di stili comunicativi orientati alla mera trasmissione di informazioni e la progettazione di relazioni multidirezionali tra attori diversi, capaci di sollecitare abilità cognitive, strategiche, metodologiche, comunicative e relazionali.
- la tensione verso una comunicazione sistematica (e non legata ad elementi occasionali) che poggi su una costante verifica della efficacia delle azioni intraprese e degli strumenti utilizzati
- l'allargamento della gamma dei potenziali destinatari che tende a comprendere i dipendenti, le comunità locali, le autorità amministrative e governative, gli organi di controllo gli azionisti, le banche, gli investitori e le assicurazioni, i consumatori, i clienti ed i fornitori, la organizzazioni ambientaliste, i mass media.
- la pluralizzazione dei linguaggi e degli strumenti tecnici (iper-testi cd-rom, mailing list, Internet – web e video conference, ecc.) e partecipativi (Forum, workshops, focus group, momenti informali-conviviali, ecc.)

In questo quadro la certificazione ambientale (ed EMAS, in particolare) può contribuire allo sviluppo di alcuni caratteri distintivi di una comunicazione ambientale di eccellenza: credibilità, significatività, completezza, verificabilità.

Elementi decisivi del contributo di EMAS all'evoluzione della comunicazione ambientale sono:

- la pubblicità dei dati ambientali
- la verifica della loro significatività da parte di un verificatore terzo
- l'assunzione di impegni concreti e verificabili
- la verifica costante del funzionamento efficiente delle strutture comunicative ed informative.

Il ruolo e la rilevanza delle variabili connesse alla partecipazione delle comunità locali deve essere colto con riferimento al carattere che EMAS ha assunto alla luce del Regolamento e delle Linee Guida interpretative. Un'implicazione della nuova caratterizzazione “politica” dello schema è rappresentata, infatti, proprio dall'enfasi sui temi della partecipazione e del coinvolgimento dei cittadini nelle fasi di disegno e di implementazione della politica e del programma ambientale.

La lettera e lo spirito del regolamento e della decisione indicano chiaramente in direzione di un coinvolgimento sistematico di una vasta gamma di attori sociali (cittadini, associazioni ambientaliste, associazioni dei consumatori, rappresentanti degli operatori economici, ecc.) che poggi su una comunicazione bidirezionale tra cittadino e amministrazione

EMAS si configura, in questo quadro, come uno strumento per muovere verso quella trasparenza nel rapporto tra cittadini e amministrazione pubblica che spesso è resa problematica dall'assenza, dall'incompletezza, dalla difficile accessibilità delle informazioni in materia ambientale.

EMAS dovrebbe costituire, infatti, uno stimolo ed un'opportunità per la costituzione di canali di interscambio informativo istituzionalizzati e capaci di superare la condizione di occasionalità e le difficoltà tecnico-operative che spesso caratterizzano i processi di partecipazione in campo ambientale.

### **7.2.7 I vantaggi di EMAS**

EMAS E ISO 14001 condividono i vantaggi tradizionalmente attribuiti alla gestione sistematica delle variabili ambientali in una prospettiva di certificazione e quindi, in estrema sintesi:

- il monitoraggio continuo della conformità legislativa e quindi la riduzione del rischio di incorrere nelle conseguenze del mancato rispetto della legge;
- l'ottimizzazione nell'uso delle risorse (materie prime, energia, rifiuti);
- il miglioramento delle prestazioni del sistema di gestione;
- la razionalizzazione di tutte le prassi e le procedure;
- la riduzione di rischi, incidenti ed emergenze, con conseguenti ricadute sui prestiti bancari e sui costi di assicurazione;
- il miglioramento dell'immagine dell'organizzazione, della comunicazione con gli *stakeholders*, del dialogo con le amministrazioni pubbliche;
- la possibilità di usufruire di semplificazione nelle procedure necessarie per il rilascio di autorizzazioni;
- una migliore valutazione degli investimenti necessari e la possibilità di accedere a finanziamenti agevolati.

La certificazione ambientale rappresenta, inoltre, un elemento sempre più importante nelle strategie di marketing territoriale e si propone, quindi, come un piano significativo di integrazione tra azioni di gestione ambientale e politiche di sviluppo locale.

Nel caso delle dighe, si dà, in particolare, una possibilità molto significativa di relazione tra la certificazione dell'organizzazione che produce energia idroelettrica e quella del parco nel territorio del quale si svolge tutta o parte dell'attività di produzione (comprese evidentemente la gestione delle dighe). I parchi sono, infatti, protagonisti di una fase importante di esplorazione delle potenzialità della certificazione ambientale (si veda la recente registrazione EMAS del Parco Mont D'Avic).

Il discorso assume particolare rilevanza con riferimento al marketing turistico. La valorizzazione della certificazione nelle arene del marketing turistico (con speciale riguardo al turismo rurale) rappresenta, infatti, uno delle tendenze più interessanti emerse recentemente nel campo delle politiche territoriali (si vedano i casi del comune di Varese Ligure o del polo turistico di Bibione).

### **7.3 L'applicazione di EMAS nelle dighe**

La Decisione sulle "Entità da registrare" specifica quale tipologia di organizzazione debba essere usata come riferimento, in ottica EMAS, nel caso delle dighe. Si tratta delle: "Organizzazioni per le quali non può essere definito un vero e proprio sito".

Rientrano in questa categoria le organizzazioni che operino, all'interno di un'area territoriale definita, in maniera integrata in diversi siti, i cui impatti ambientali siano interconnessi. In questo caso, i siti separati debbono essere considerati, ai fini della registrazione EMAS, come una singola organizzazione. E' questo ad esempio il caso di una singola valle in cui sono state erette varie dighe che controllano lo stesso sistema fluviale per lo sfruttamento dell'energia idroelettrica o per l'uso dell'acqua ai fini dell'irrigazione.

In considerazione del fatto che tali organizzazioni operano in vaste aree, comprese città e territori metropolitani, esse debbono dare evidenza di avere:

- considerato i rischi per l'ambiente e la popolazione
- adottato appropriati piani per informare la popolazione su come comportarsi in caso di emergenza
- preparato una informazione sistematica a livello di popolazione
- considerato le infrastrutture sotto il loro controllo.

Su questa strada si sono mosse, quindi, le registrazioni delle organizzazioni che producono energia idroelettrica in Italia.

Si veda la registrazione EMAS degli impianti del Cordevole.<sup>18</sup>

La registrazione EMAS del sito del Cordevole ha assunto, quindi, come riferimento (e come oggetto di indagine per l'Analisi Ambientale Iniziale) sia l'opera di ritenuta, che le opere di adduzione, che il fabbricato di produzione, che, infine, l'opera di restituzione.

La registrazione interessa non solo le aree dove sono installate le macchine idrauliche per la generazione dell'energia elettrica, ma l'intera valle sottesa dal bacino imbrifero dell'intero corso d'acqua e dei suoi affluenti. L'analisi ambientale iniziale è stata quindi estesa su richiesta della Sezione EMAS Italia a tutti gli aspetti ambientali rilevanti che interessano le modifiche che le dighe e gli invasi artificiali comportano per l'intera valle del Cordevole. Gli aspetti di sicurezza dei pendii, la regolazione della portata in tutti i corsi d'acqua per rispettare sia la flora e la fauna, l'utilizzazione dell'acqua anche a fini di irrigazione, la tutela degli aspetti paesaggistici (legata tra l'altro alla vocazione turistica della zona) hanno rappresentato elementi particolarmente rilevanti nella dichiarazione ambientale ai fini sia dell'analisi sia degli interventi previsti dal programma di miglioramento ambientale.

A partire dalla delimitazione dell'area e dell'attività interessate dalla certificazione la politica ambientale EMAS per gli impianti della valle del Cordevole considera come obiettivi prioritari i seguenti (Enel Produzione 2002):

- Migliorare continuamente e progressivamente le prestazioni ambientali in tutte le attività del sito.
- Rispettare la legislazione ambientale applicabile e tutti gli altri requisiti sottoscritti dalla organizzazione.
- Gestire l'utilizzo delle risorse idriche a scopo idroelettrico migliorando la tutela e l'equilibrio dell'ambiente in cui si attua il processo produttivo.
- Gestire il trasporto solido lungo il reticolo idrografico superficiale nell'ottica di un riequilibrio.
- Privilegiare l'azione di prevenzione dell'inquinamento alla fonte piuttosto che l'abbattimento dello stesso a valle delle attività.
- Ottimizzare il recupero dei rifiuti.
- Favorire l'inserimento nel paesaggio delle strutture e delle infrastrutture esistenti e da realizzare.
- Ridurre gli effetti negativi sull'ambiente generati dalle attività, con riferimento ad ogni tipologia di emissione solida, liquida o gassosa.
- Minimizzare il disturbo dovuto all'emissione di rumori e odori.
- Minimizzare il rischio di contaminazione dell'ambiente dovuto a perdite accidentali di sostanze pericolose per l'uomo o per l'ambiente.
- Promuovere la comunicazione esterna (informazione e sensibilizzazione) del pubblico e di altri soggetti (es.: fornitori) le cui attività hanno relazioni con quelle di Enel Produzione per raggiungere un elevato grado di cooperazione ai fini della tutela ambientale.
- Analizzare le esigenze espresse, nell'ambito delle rispettive attribuzioni e delle norme vigenti, dalle Amministrazioni ed associazioni locali allo scopo di definire migliori pratiche di gestione per la salvaguardia dell'ambiente e di migliorare il godimento delle risorse.

---

<sup>18</sup> Si tratta di nove centrali (Malga Ciapela, Saviner, Cencenighe, Agordo, La Stanga, Sospirolo, Cavia, Molino e Taibon) e quattro dighe (Fedai, Allegh, Ghirlo e Mis) per una potenza installata di 160.000 kW.

- Sviluppare la partecipazione dei lavoratori e la loro coscienza ambientale, responsabilizzandoli per tutte quelle azioni che possano avere una qualche incidenza sull'ambiente”.

La dichiarazione dell'altro sistema di produzione di energia idroelettrica, quello dell'Avisio fornisce interessanti indicazioni sui rapporti con soggetti terzi. Si veda il seguente passaggio (Enel Produzione 2000):

“Il rapporto contrattuale che vincola le imprese appaltatrici all'Enel estende i propri vincoli anche agli aspetti riguardanti l'ambiente. Le imprese sono informate preventivamente dell'esistenza di un sistema di Gestione e di una Politica Ambientale”.

Come segnalato in precedenza, ciò che emerge, in prima istanza, è il ruolo della certificazione come processo che promuove l'integrazione: integrazione fra diversi ambiti territoriali, integrazione fra la gestione di diverse tipologie di rischio e di impatto e integrazione fra interventi tecnici e interventi di formazione, di informazione, di sensibilizzazione.

La certificazione, inoltre, può giocare, in prospettiva, un ruolo importante nella riduzione dei costi della gestione assicurativa dei rischi. L'introduzione della cultura e dei metodi dell'audit all'interno delle organizzazioni che gestiscono gli sbarramenti idrici promette infatti di operare come garanzia importante nei confronti delle società di assicurazione. La sensibilità di queste ultime per il tema della certificazione ambientale è, del resto, in continuo aumento e ciò potrebbe avere implicazioni molto significative per il settore delle dighe (almeno, in prima istanza, con riferimento ai premi relativi ai rischi secondari, ovvero non inerenti al collasso della diga).

## 8. CONCLUSIONI

L'esame critico qualitativo svolto in questo documento, in particolare nella parte introduttiva, non deve indurre a sminuire l'importanza di sviluppare, sperimentare ed applicare le tecniche correnti di analisi del rischio, che sono destinate, soprattutto nella prospettiva di una loro ulteriore maturazione, a costituire indispensabile supporto dei processi decisionali. Tali critiche vanno piuttosto intese –una volta che se ne siano precisati i dettagli tecnici- come rivolte a fornire razionali indirizzi di ricerca finalizzati al perfezionamento dei metodi in questione ed al miglioramento della comunicazione e della mutua comprensione tra i vari attori del processo decisionale; una volta rimosse o almeno ridotte le imperfezioni e le ambiguità concettuali, questi metodi potranno infine divenire strumenti accettati e di normale impiego per la razionale pianificazione di uno sviluppo e gestione sostenibile del territorio. E' su questa falsariga che dovranno prevalentemente svilupparsi le eventuali attività future del Gruppo di Lavoro dell'ITCOLD.

E' opportuno beninteso che le attività del citato Gruppo di lavoro si interfaccino con le eventuali attività analoghe che risultassero già intraprese, o programmate per il futuro prossimo, nell'ambito dell'UE (oltre che evidentemente dell'ICOLD).

Si anticipa comunque qui di seguito un breve e sommario elenco dei principali fattori che non risultano sinora presi in conto o sembrano rappresentati in modo non del tutto soddisfacente nei metodi affidabilistici e/o nei modelli strutturali che formano parte di alcuni di essi. Ci si riferisce ovviamente al caso particolare delle applicazioni concernenti le dighe.

- Peculiarità della storia e delle modalità di costruzione, coi loro riflessi su difetti locali e sullo stato di coazione iniziale (questi fattori sono sostanzialmente sconosciuti, talché su di essi si possono solo fare ipotesi più o meno plausibili)
- Incertezze (arbitrarietà di scelta) sulla forma e sui parametri delle distribuzioni di densità di probabilità delle azioni esterne
- Influenza delle condizioni termiche (tempo- e spazio-variabili) e delle coazioni iniziali (v. sopra) sulle condizioni di cedimento strutturale
- Influenza della variabilità spaziale dell'eccitazione sismica (lungo le fondazioni sia a serbatoio vuoto che a serbatoio pieno; anche sul fondo del bacino nel caso di serbatoio pieno)
- Definizione fisicamente plausibile e teoricamente corretta della condizione limite di cedimento strutturale, sia locale che globale (la condizione in questione viene spesso approssimata assai grossolanamente nelle applicazioni correnti o proposte a livello di ricerca)
- Non linearità di tipo particolare (ad esempio l'apertura e chiusura dei giunti di costruzione delle dighe a volta durante l'eccitazione sismica a serbatoio vuoto)
- Condizioni di incidente dovute a cause idrauliche (piene eccezionali, tracimazione)
- Condizioni o probabilità di incidente alle opere di scarico ed agli equipaggiamenti elettromeccanici di manovra delle paratoie (notare che per assegnare ragionevoli funzioni di densità di probabilità ai vari tipi di incidente in questa categoria occorrerebbe disporre di banche dati, analoghe a quelle istituite per gli incidenti ai componenti degli impianti nucleari; tali banche dati non risulta esistano o siano allo studio per le dighe).

Molti di questi fattori potranno in futuro essere inglobati nelle procedure numeriche, a prezzo di complicazioni nella formulazione matematica e/o di aggravii computazionali,



mentre per altri la loro corretta implementazione appare a priori più ardua o lontana nel tempo.

Da tutte le considerazioni svolte nei paragrafi precedenti viene evidenziato come l'analisi di rischio, applicata alle dighe, rappresenti un procedimento basato su modelli complessi, composti da fasi e metodologie di vario tipo, alcune delle quali di carattere empirico o comunque non scientifico in senso stretto<sup>19</sup>; mentre non si intravede a breve scadenza la possibilità di rendere più omogenea e razionale la procedura in parola, occorre d'altra parte riconoscere che essa è necessaria nella sua qualità di strumento operativo al servizio delle scelte gestionali per il governo delle acque di un determinato territorio.

[OSSERVAZIONE. *Le critiche non escludono, ovviamente, che il procedimento attuale possa essere perfezionato in alcune delle sue componenti, cosa senz'altro auspicabile e da perseguire; quello che non si vede al momento attuale è un nuovo approccio concettuale d'insieme che consenta di superare organicamente i punti deboli di quello attuale*].

Ciò che si può sottolineare al termine di questa sommaria disamina si può riassumere in alcuni punti principali:

-sarebbe auspicabile che l'analisi e la gestione del rischio entrino a far parte esplicita dell'iter progettuale, autorizzativo e gestionale delle dighe esistenti e di quelle da costruire;  
-occorrerebbe sempre parlare di *analisi dei rischi e dei benefici* anziché solo di *analisi del rischio* per evitare di dare sin dal titolo un carattere di negatività ad un iter che è comunque al servizio del progresso civile di un territorio;

-occorrerebbe chiarire maggiormente quali sono i possibili campi di applicazione dei risultati dell'analisi, eventualmente precisando le differenze procedurali da introdurre nell'analisi in relazione alle diverse categorie di obiettivi finali;

-è opportuno, per non dire indispensabile, coinvolgere i rappresentanti delle parti sociali interessate nel processo valutativo e decisionale per la costruzione di una nuova diga, anziché restringere tale processo nell'ambito tecnico e presentarne i risultati alla pubblica opinione solo alla fine, come qualcosa in sé conclusa da *prendere o lasciare*;

-nelle *trattative* di cui sopra andrebbe sempre considerato, oltre all'opzione di costruire la nuova diga coi relativi vantaggi e svantaggi, anche lo scenario dell'opzione di rinunciare a tale nuova costruzione (valutando quali sono le eventuali alternative) con le sue conseguenze a breve, medio e lungo termine;

-è necessario che tutte le parti coinvolte dialetticamente nel processo abbiano un'adeguata preparazione rivolta a rendere chiare a tutti le possibilità e le limitazioni degli strumenti impiegati, e che i parametri del procedimento nella definizione dei quali vi sia un margine di discrezionalità o di soggettività vengano concordati in una fase preliminare;

-appare auspicabile accertare se non si possano adottare definizioni e formulazioni semanticamente meno ambigue della cosiddetta *probabilità di rottura*, ad es. tramite un *indice di confidenza strutturale*, definito (a puro titolo di esempio) in modo da evidenziare il deficit di informazione dovuto alle incertezze delle conoscenze, come proposto nella nota allegata al presente documento;

-il lavoro del Gruppo ITCOLD sull'Analisi di Rischio dovrebbe realizzare, al termine di opportune ricerche bibliografiche e di un lavoro critico e di sintesi, uno stato dell'arte che metta a fuoco i vari aspetti del problema e tracci anche, per quanto possibile, le linee di un programma di ricerche future rivolte a favorire il progresso della tematica e ad introdurre la corretta applicazione nella pratica.

A questo proposito si osserva che i piani di protezione civile per far fronte alle eventuali emergenze, pur se a rigore potrebbero sembrare non far parte dell'analisi di rischio in senso stretto, è opportuno vengano inclusi nello studio del Gruppo, sia perché coinvolgono

---

<sup>19</sup> Vedansi anche le considerazioni critiche più di dettaglio svolte nell' "Introduzione".

comunque la destinazione di risorse che andrebbero incluse nell'analisi dei costi (e sono comunque mezzi destinati ad alleviare le conseguenze di eventuali incidenti, ciò che deve riflettersi sulla valutazione del rischio), sia per accertare quale sia lo stato di preparazione dell'ambiente italiano in materia, confrontandolo dovunque possibile con le realtà di altre nazioni ed indicando possibili modifiche.

Dato infine che il nuovo Regolamento Dighe non ha ancora visto la luce, lo studio intrapreso potrebbe anche condurre, in prospettiva, ad una circostanziata proposta di inclusione dell'analisi del rischio nel nuovo Regolamento (con eventuali linee guida precisate nelle Norme Tecniche allegate al Regolamento stesso), ovviamente con le riserve accennate nei paragrafi precedenti. Come accennato nel paragrafo 1.3 della PREMESSA, ciò comporterebbe ovviamente il coinvolgimento attivo del RID.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **Riferimenti generali**

M. Fanelli (1997) *Estimación del grado de seguridad en las presas; práctica y crítica*, Ingeniería del Agua, Vol. 4, n°2, 1997

D. Blockley (1992) *Engineering Safety*, Mc Graw-Hill

A. Goubet (1979) *Risques associés aux barrages*, La Houille Blanche, n°8

F. A. Johnson, P. Illes (1976) *A Classification of Dam Failures*, Water Power and Dam Construction, n°di Dicembre

M. Fanelli (1994) *General Report on Question 68 – Safety of existing Dams*, XVIII° Congresso ICOLD, Durban (Sud Africa)

Atti della International Conference on Safety of Dams (1984), Coimbra (Portogallo), Aprile

Atti dell' International Workshop on Dam Safety Evaluation (1993), Grindelwald (Svizzera), Aprile

Atti dei 7 International Benchmarks-Workshops on Numerical problems of Dam Analysis and Design (dal 1991 al 2003, in varie sedi)

Bollettini ICOLD n° 68 (1989), Monitoring of Dams and their Foundations; n° 94 (1994), Computer Software for Dams, Validation; n° 99 (1995), Dam Failure Statistical Analysis  
Aggiungere il Bollettino sul Risk Assessment for Dams

E. L. Grant (1952) *Statistical Quality Control*, Mc Graw-Hill

I. W. Burr (1953) *Engineering Statistics and Quality Control*, Mc Graw-Hill

Comitato Nazionale Italiano per l'International Hydrological Programme (CNI-IHP) dell'UNESCO, GNCI, SND - Giornata di studio sul tema "Valutazione del rischio idraulico a valle delle dighe". CNR – Roma, 8.6.2003

Gruppo di lavoro ITCOLD sulla "Gestione delle dighe in condizioni di emergenza" (work in progress)

### **Documenti di riferimento del paragrafo 5.1**

[D1] Achterberg, D., "Bureau of Reclamation's Dam Safety Program," Nineteenth Annual USCOLD Lecture Series, Dealing with Aging Dams, Atlanta, Georgia, May 17-21, 1999, 41 through 50.

[D2] Cyganiewicz, J., Smart, J., "U.S. Bureau of Reclamation's Use of Risk Analysis and Risk Assessment in Dam Safety Decision Making," 20<sup>th</sup> ICOLD Congress, Beijing, September, 2000.

[D3] "Dam Safety Risk Analysis Methodology," U.S. Bureau of Reclamation, October, 1998.

[D4] "Hennig, C., Dise, K., Muller, B., "Achieving Public Protection with Dam Risk Assessment Practices," U.S. Bureau of Reclamation, 1999.

### **Documenti di riferimento del paragrafo 5.2**

Comitato Nazionale Italiano per l'International Hydrological Programme (CNI-IHP) dell'UNESCO, GNCI, SND - Giornata di studio sul tema "Valutazione del rischio idraulico a valle delle dighe". CNR – Roma, 8.6.2003

### **Documenti di riferimento del paragrafo 7**

Biondi V. (1999). *L'audit ambientale*, Il Sole 24 Ore Pirola, Milano.

Biondi V., Doria L. (a cura di), (2000). *Economic instruments for sustainable development. Improving the external and working conditions. Part 2*, European Foundation for the Improvement of the Living and Working Conditions, Office for Official publications of the European Communities, Luxembourg.

Biondi V., Doria L. Verga V., (2001). *Sostenibilità, impresa, formazione. Indicazioni da una ricerca sulla situazione italiana sulla situazione italiana*, Economia delle Fonti di Energia e dell'Ambiente, 3.

Carnimeo G., Frey M., Iraldo F., (2002). *Gestione del prodotto e sostenibilità*, FrancoAngeli, Milano.

Commissione Europea, (2001). *Decisione relativa agli orientamenti per l'attuazione del regolamento (CE) n. 761/2001 del Parlamento Europeo e del Consiglio sull'adesione volontaria delle organizzazioni a un sistema comunitario di ecogestione e audit (EMAS)*, GUCE L247/24 del 17 settembre 2001.

Commissione Europea, (2001). *Raccomandazione relativa agli orientamenti per l'attuazione del regolamento (CE) n.761/2001 del Parlamento Europeo e del Consiglio sull'adesione volontaria delle organizzazioni a un sistema comunitario di ecogestione e audit (EMAS)*, GUCE L 247/1 del 17 settembre 2001.

Consiglio dell'Unione Europea, Parlamento Europeo, (2001). *Regolamento (CE) n. 76/2001 sull'adesione volontaria delle organizzazioni a un sistema comunitario di ecogestione e audit (EMAS)*, GUCE 114/1.

Delogu B., Dubini M., Giuiuzza P., (1996). *Gestire l'ambiente*, Il Sole 24 Ore Pirola, Milano.

Doria L., (2001). *Interpretazioni ed usi dei concetti di identità e sostenibilità nelle politiche territoriali europee*, Atti della XXII Conferenza dell' AISRE, (CD).

Doria L. (2002a), *Percorsi e prospettive della certificazione ambientale in Italia*, in AA.VV. *Certificazioni Ambientali: Metodi e Tecnologie applicabili ai Sistemi di Gestione*, Politecnico di Milano, 2002.

Doria L., (2002). *Agenda 21 ed EMAS nella politica ambientale delle amministrazioni locali italiane*, Economia delle fonti di Energia e dell'Ambiente, 3.

Enel Produzione (2000) *Dichiarazione Ambientale EMAS, Centrali idroelettriche del sito Avisio*.

Enel Produzione (2002) *Dichiarazione Ambientale EMAS, Impianti idroelettrici della valle del Cordevole*

Frey M, (1995). *Il management ambientale*, FrancoAngeli, Milano.

IEFE, Certiquality, Assolombarda (2002). *Linee guida sull'applicazione del regolamento (CE) n. 761/2001 (EMAS II)*

Iraldo F., (2001). *Le nuove prospettive del Regolamento EMAS: gli aspetti indiretti*, Ambiente e sicurezza, 16.

## ALLEGATO

### PROPOSTA DI MODIFICA NELLA DEFINIZIONE DELL’AFFIDABILITA’ STRUTTURALE DELLE DIGHE

Le critiche esposte nei paragrafi precedenti (e sviluppate in maggior dettaglio in altre occasioni) in merito alle metodologie attuali di calcolo della cosiddetta *probabilità di rottura*, soprattutto avuto riguardo ai possibili equivoci interpretativi che ne possono sorgere, hanno condotto a svolgere riflessioni sull’opportunità di definire un diverso parametro per misurare l’affidabilità, pur continuando a basarsi sul risultato numerico che attualmente viene identificato con la anzidetta *probabilità di rottura* e quindi senza buttare a mare le procedure usuali di analisi di affidabilità.

Sia  $P_f$  la *probabilità* calcolata (evidentemente minore di 1). Essa, come messo in rilievo altrove, è in realtà una misura convenzionale (non completamente obiettiva) che ingloba gli effetti delle incertezze insite sia nella variabilità dei carichi che nelle incomplete conoscenze delle capacità di resistenza della struttura.

Si potrebbe allora proporre, ad esempio, di introdurre, a partire da  $P_f$ , il nuovo parametro **indice di confidenza strutturale**  $I_{cs}$  così definito:

$$I_{cs} = -\text{Log}P_f \quad (1)$$

[preferibilmente il logaritmo naturale, per ragioni psicologiche: così una *probabilità di rottura* di  $10^{-4}$ , ben accettabile in base alla pratica, verrebbe sostituita da un *indice di confidenza strutturale* di 9.2. ed una *probabilità di rottura* di  $10^{-5}$ , eccellente, da un indice di 11.5; oppure  $I_{cs} = -0.8686 \cdot \ln P_f$ , col che a  $P_f = 10^{-5}$  corrisponderebbe il punteggio di 10].

Poiché  $P_f < 1$  sarà sempre  $I_{cs} \geq 0$ ; tale parametro varrebbe 0 per  $P_f = 1$  ed è evidentemente tanto maggiore quanto minore è  $P_f$ , rispecchiando così qualitativamente il grado di *certezza* o meglio di *fiducia* che si nutre, sulla base delle informazioni disponibili, circa la stabilità strutturale dell’opera.

E’ da notare che l’uso di formule analoghe alla (1) è prassi accettata in molti campi in cui gioca la natura statistica degli oggetti indagati (si ricordi, in un campo lontano dai presenti interessi, la definizione del pH di una soluzione<sup>20</sup>), ma soprattutto è in linea con la misura classica dell’**informazione** contenuta in un messaggio (consistente in questo caso nel valore assunto da una sola variabile<sup>21</sup>), cioè con la misura razionale dell’incertezza che è tolta dall’informazione contenuta nel messaggio stesso.

Con la nuova definizione proposta, pur continuando a far uso delle metodologie di analisi consolidate, si evidenzia la relatività dell’indice alle informazioni di cui si dispone e si attenuano le possibilità di fraintendimento.

---

<sup>20</sup> Il pH si può effettivamente interpretare come il grado di confidenza che non si incontreranno ioni H+ in un ‘random walk’ attraverso la soluzione: si ha la confidenza di non incontrare più di un ione H+, in media, su  $10^{pH}$  incontri.

Analogamente nel nostro caso in  $10^{I_{cs}}$  estrazioni a sorte dall’universo virtuale cui si riferisce l’analisi di affidabilità si confida di non avere, in media, più di un evento di collasso strutturale.

<sup>21</sup> La variabile è il valore ‘vero’ o ‘falso’ dell’evento ‘collasso strutturale’ nell’estrazione a sorte dall’universo virtuale, v. nota precedente. La probabilità di manifestazione del valore ‘vero’, per le ipotesi assunte, è  $P_f$ .

[Inoltre, qualora si determinassero 'probabilità' plurime  $P_{f1}, P_{f2}, \dots, P_{fn}$  di *failure to perform adequately* di differente natura (cioè non solo per cedimento strutturale: messaggio consistente nei valori assunti da più variabili), seguendo lo stesso criterio ispirato alla teoria dell'informazione un razionale **indice complessivo di confidenza** potrebbe essere definito come:

$$I_{cc} = - \frac{\sum_{j=1}^{j=n} P_{fj} \cdot \text{Log} P_{fj}}{\sum_{j=1}^{j=n} P_{fj}} .$$

Evidentemente tale definizione è coerente con quella data sopra

qualora si consideri la sola componente strutturale; inoltre tutte le  $P_{fj}$  devono essere molto piccole, altrimenti si incorre in contraddizioni].