

INFORMATION SYSTEM FOR HYDROGEOLOGICAL RISKS (IHR)

PROCEDURA PER LA REALIZZAZIONE DI UNA CARTA INDICATIVA DEI PERICOLI ALLUVIONALI PER FIUMI DI FONDOVALLE IN TERRITORIO ALPINO

A PROCEDURE FOR THE CREATION OF HAZARD INDICATION MAPS FOR ALPINE RIVERS

Claudio Volcan¹, Hanspeter Staffler¹

ABSTRACT

A method for the creation of hazard indication maps for alpine rivers at a regional scale is presented. First the possible points of over flow, the so called weak points, of the entire river network are detected and in a successive analysis the effects on the floodplain are investigated. Two different types of weak points are considered: (1) weak points due to insufficient flow capacity; (2) weak points due to dike instability. For weak points of the first type a steady 1D hydrodynamic model is used in order to evaluate the flow capacity of each river cross section and a very simple algorithm is used for the determination of the possible weak sections. The return period of the events is not considered. For weak points of the second type a new qualitative procedure is proposed in order to detect dike reaches with a high failure propensity.

Keywords: hazard maps, hydrodynamic modelling

RIASSUNTO

Si presenta una metodologia per la redazione, a scala regionale, di carte indicative dei pericoli alluvionali relative ai corsi d'acqua di fondovalle in ambiente alpino. Tali carte vengono redatte individuando dapprima i punti di possibile esondazioni di un sistema idrografico, denominati punti deboli, ed analizzando in un secondo tempo gli effetti derivanti. Si considerano due differenti tipologie di punti deboli: (1) punti deboli per insufficiente capacità di deflusso; (2) punti deboli per instabilità arginale. Per i punti deboli della prima tipologia si calcola, per mezzo di un modello stazionario monodimensionale, la capacità di deflusso teorica di ciascuna sezione fluviale ed attraverso un semplice algoritmo si determinano le sezioni nelle quali può aversi esondazione, a prescindere dalla frequenza (tempo di ritorno) degli eventi considerati. Per i punti deboli della seconda tipologia si propone una procedura di tipo qualitativo per la determinazione dei tratti d'argine che presentano spiccata propensione al cedimento.

Keywords: pericoli naturali, esondazioni, punti deboli, dam-break

¹ Department of Hydraulic Engineering, Autonomous Province of Bolzano – South Tyrol, Italy, Cesare-Battisti Str. 23, 39100 Bozrn, Italy (Tel.: +39-0471-414550; email: wasserschutzbauten@provinz.bz.it)

INTRODUZIONE

Nell'ambito della difesa e gestione dei pericoli naturali è sempre più forte l'esigenza da parte degli enti preposti di disporre di strumenti che consentano l'identificazione a livello regionale dei fenomeni naturali. Tale esigenza nasce da un lato dalla necessità di pianificare gli interventi di difesa attiva, attraverso la realizzazione di opere di sistemazione dei corsi d'acqua, e dall'altro dalla necessità di una pianificazione territoriale compatibile con i pericoli naturali, attraverso l'adozione di idonei strumenti quali i piani delle zone di pericolo.

In Alto Adige è stata recentemente realizzata una carta identificativa dei pericoli naturali per i fenomeni di colata detritica e di alluvione torrentizia. Tale carta si fonda su modelli assai semplificati e validi per la descrizione di fenomeni governati prevalentemente dall'azione della forza di gravità.

Per quanto concerne i fiumi di pianura, individuabili come i corsi d'acqua aventi una pendenza media inferiore ad 6%, le procedure di analisi su scala regionale sviluppate fino ad oggi non forniscono risultati attendibili, poiché i fenomeni non sono più fortemente governati dalla forza di gravità. Nel bilancio della quantità di moto i termini dissipativi dovuti alla turbolenza ed alla scabrezza degli alvei divengono dello stesso ordine di grandezza dei termini convettivi e gravitazionali e non possono quindi essere trascurati. Ciò si traduce nella sostanziale necessità di adottare una metodologia che descriva in maniera semplificata, ma sufficientemente precisa, il comportamento idraulico dei corsi d'acqua considerati. Inoltre i corsi d'acqua di fondovalle sono spesso provvisti di rilevati arginali artificiali, realizzati per lo più in materiale sciolto, che sono facilmente soggetti a cedimenti e rotte. L'esperienza maturata in Alto Adige ed in particolare sul fiume Adige porta, di fatto, ad individuare nella rotta d'argine il principale fattore di pericolo nel caso dei fiumi arginati.

Al fine di redigere una carta indicativa dei pericoli naturali anche per i fenomeni alluvionali di fondovalle è stata sviluppata una metodologia che consente di determinare e catalogare tutti i punti deboli dei sistemi idraulici di pianura e di determinare le potenziali aree allagabili.

Il contributo innovativo del presente lavoro riguarda essenzialmente la metodologia determinazione dei punti deboli, mentre per la delimitazione delle aree allagabili viene applicato un modello idrodinamico bidimensionale.

METODOLOGIA

La metodologia adottata per la redazione della carta indicativa dei pericoli naturali per i fiumi di pianura consiste di due fasi fondamentali. La prima fase prevede la definizione e la ricerca delle possibili cause di esondazione e la determinazione di tutti i possibili punti deboli sull'intero reticolo idraulico studiato. La seconda fase consiste nella determinazione dell'estensione delle aree allagabili.

Fase 1 - Analisi dei punti deboli

L'analisi dei punti deboli viene svolta allo scopo di determinare i punti del reticolo idrografico di fondovalle nei quali sia possibile avere esondazione in occasione di eventi di piena estremi. Per evento estremo si intende un evento di fortissima intensità senza specificarne il tempo di ritorno o la probabilità di accadimento. Si ricercano pertanto tutti i punti del reticolo idrografico nei quali è possibile avere esondazione, a prescindere dalla

probabilità dei fenomeni di piena. La metodologia si fonda da un lato sull'analisi idraulica dei tratti fluviali considerati e dell'altro sull'analisi qualitativa dello stato dei rilevati arginali. Sono state individuate varie categorie e sottocategorie di punti deboli:

- 1) punti deboli per insufficienza della sezione liquida:
 - a) Geometria del canale insufficiente
 - b) Opere trasversali che possono costituire un ostacolo per il deflusso (restringimenti localizzati)
 - i) Ponti
 - ii) Tomboni stradali
- 2) punti deboli per insufficiente resistenza dei rilevati arginali:
 - a) presenza di paleoalvei
 - b) presenza di fontanazzi
 - c) presenza di rotte arginali storiche
 - d) assenza di opere di impermeabilizzazione e/o stabilizzazione
 - i) jet grouting
 - ii) palancole in acciaio
 - iii) controargini

Le categorie (1) e (2) sono di natura completamente differente, l'una legata al dimensionamento idraulico delle sezioni fluviali e delle opere trasversali presenti, l'altra legata a criteri di stabilità di tipo geotecnico. Per questo motivo è stato necessario sviluppare due differenti approcci investigativi.

Procedura per la determinazione dei punti deboli della categoria (1)

I punti deboli della categoria (1) sono stati determinati mediante un'analisi idraulica a moto permanente sul reticolo idrografico e prendendo in considerazione anche la presenza di ostacoli per il moto della corrente, quali ponti o tomboni (di seguito si parlerà unicamente di ponti, intendendo entrambi le tipologie di opera).

I dati di input necessari per la metodologia sviluppata sono file vettoriali contenenti il reticolo idrografico da studiare in formato polilinea 2D (x,y), un modello digitale del terreno (Digital Earth Model, DEM) sufficientemente raffinato (avente almeno una maglia di dimensioni pari a 2.5 x 2.5 m), il catasto delle opere idrauliche, contenente le caratteristiche geometriche principali dei ponti (luce, altezza, geometria delle pile).

La procedura adottata si fonda sulla schematizzazione dei corsi d'acqua

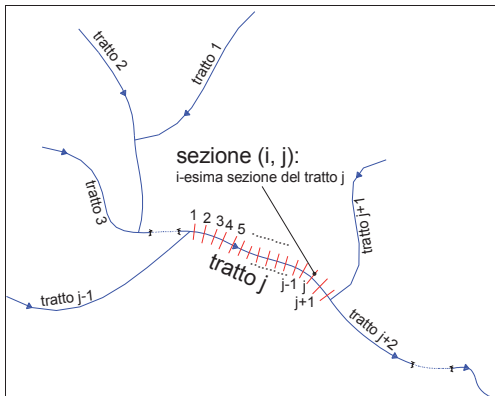


Fig1: schematizzazione del reticolo idrografico di fondovalle: ogni ramo è identificato da un pedice j, ogni sezione da una coppia (i,j).

di fondovalle descritta di seguito (Fig1).

Si individuano dapprima tutti i tratti di testata del reticolo idrografico ed i tratti compresi fra due confluenze successive. Ciascun tratto viene identificato con un pedice j ed in generale ci saranno N tratti. All'interno di ciascun tratto si individuano M_j sezioni fluviali significative $S_{i,j}$ (con $i=1,2,\dots,M_j$).

Ciascuna sezione è rappresentata in ambiente GIS da un segmento ortogonale all'asse fluviale. La metodologia prevede di estrarre in modo automatico dal DEM la geometria delle sezioni. Ove disponibili rilievi topografici di sezioni fluviali, le sezioni ricavate in automatico vengono sostituite con le sezioni di rilievo, in modo da migliorare il grado di accuratezza delle geometrie utilizzate.

Ciascun tratto viene modellato indipendentemente dagli altri tratti, in condizioni di moto permanente ed adottando uno schema 1D. Si determinano in questo modo L_j profili di moto permanente per una serie ampia di valori crescenti di portata Q_{kj} (con $k=1,2,\dots,L_j$), che soddisfa le seguenti condizioni (Y_{esoj} = tirante massimo consentito senza esondazione nella sezione (i, j)):

- $Y_{ij}(Q_{1j}) < Y_{esoj} \quad \forall(i, j)$ per la portata Q_{1j} non si ha esondazione in alcuna sezione del tratto j (1)
- $Y_{ij}(Q_{L_jj}) > Y_{esoj} \quad \forall(i, j)$ per la portata Q_{L_jj} si ha esondazione in ogni sezione del tratto j (2)

Quando le due condizioni sono rispettate si ha la certezza di avere coperto, con la serie di portata Q_{kj} (con $k=1,2,\dots,L_j$), tutto il range delle portate teoriche ammissibili per il tratto j . L'incremento di portata da adottare viene stabilito di volta in volta per ciascun tratto, sulla base dello scarto fra Q_{L_jj} e Q_{1j} , in modo da garantire una adeguata descrizione della scala delle portate di moto permanente per ciascuna sezione. La modellazione è eseguita trascurando eventuali esondazioni ed il parametro di resistenza di Manning è assunto costante e pari a $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$, salvo per i tratti in cui siano disponibili dei valori calibrati.

Segue la fase di determinazione della capacità di deflusso o portata limite Q_{lim} , di ciascuna sezione fluviale, sulla base dei risultati delle simulazioni in moto permanente eseguite. Dal punto di vista operativo Q_{lim} è definita come il valore di portata in corrispondenza del quale il franco rispetto all'argine più basso risulta inferiore a 10cm. Si determina anche la sponda orografica (destra, sinistra o entrambi) sulla quale vi è esondazione.

La ricerca dei punti deboli viene eseguita per ciascun tratto j , assumendo un valore estremo di portata $Q_{extreme}$, calcolato mediante il modello idrologico AIDI, in possesso della Ripartizione 30 – Opere Idrauliche della Provincia Autonoma di Bolzano, e verificando se la portata limite in ciascuna sezione risulti o meno inferiore a tale valore di riferimento. Le sezioni in cui la portata limite risulta inferiore alla portata di riferimento sono considerate punti deboli del sistema.

I ponti rappresentano degli ostacoli per il deflusso della corrente e necessitano pertanto di particolare attenzione nell'ambito dell'analisi dei punti deboli. Per ciascun ponte si esegue la verifica idraulica in relazione alla portata di riferimento che interessa la sezione del ponte stesso, stabilendo così il regime idraulico all'attraversamento del ponte:

Regime A: si ha per correnti indisturbate subcritiche e per elevati valori del rapporto di restringimento; in queste condizioni la corrente incidente da monte ha un'energia specifica

rispetto al fondo sufficiente a passare il restringimento e non si ha pertanto transizione in corrente veloce e generazione di un risalto idraulico a valle del ponte. In queste condizioni il leggero sovrizzo della superficie libera può essere calcolato mediante la formula empirica proposta da Yarnell.

Regime B: si ha per correnti indisturbate subcritiche e rapporti di restringimento bassi. In questo caso il restringimento è assai marcato e la corrente di monte non ha energia specifica rispetto al fondo sufficiente ad attraversare il restringimento. Si ha quindi un forte rigurgito a monte del ponte, passaggio attraverso lo stato critico in corrispondenza del restringimento, passaggio in corrente supercritica a valle del ponte e generazione di un risalto idraulico con ritorno al regime di corrente subcritica a valle del ponte. Il massimo tirante idraulico si realizza immediatamente a monte del restringimento e si può calcolare imponendo la conservazione dell'energia specifica fra una sezione posta immediatamente a monte del ponte e la sezione ristretta.

Regime C: si ha nel caso di corrente indisturbata supercritica, per numeri di Froude elevati ed elevati rapporti di restringimento. La corrente di monte ha energia sufficiente per attraversare il ponte e pertanto il moto si mantiene supercritico anche nel restringimento. Il sovrizzo in questo caso è limitato al tronco ristretto ed è determinabile utilizzando una relazione per le perdite localizzate di energia di tipo Borda (brusco allargamento).

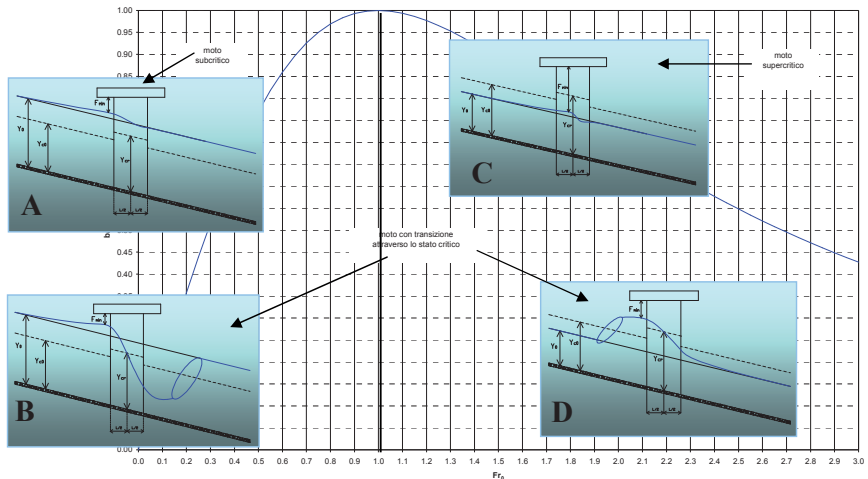


Fig.2: determinazione della categoria sulla base del grafico che descrive l'attraversamento dei ponti.

Regime D: si realizza nel caso di numeri di Froude superiori ad 1 ma prossimi all'unità e per rapporti di restringimento bassi. In questo caso la corrente di monte non ha energia sufficiente per passare il restringimento e si ha quindi passaggio in corrente lenta tramite un risalto idraulico a monte del ponte, attraversamento del ponte in condizioni critiche, e successivamente ritorno alle condizioni supercritiche a valle del ponte. Il passaggio in corrente lenta a monte del ponte determina un forte incremento del tirante idrico con possibilità di esondazione. Inoltre la forte riduzione della velocità può favorire il deposito del materiale trasportato dalla corrente nel tratto di corrente lenta a monte del ponte, causandone così

l'occlusione. Per la determinazione del massimo tirante e la localizzazione del risalto idraulico si applica il principio di conservazione dell'energia fra una sezione posta immediatamente a monte del ponte e la sezione ristretta ed il bilancio delle spinte idrodinamiche fra la corrente supercritica indisturbata di monte e la corrente lenta di valle.

Una volta determinato il regime idraulico (A, B, C o D) presso i ponti, come rappresentato in Fig2, essi vengono classificati secondo un sistema di punteggi, che ne definisce la probabilità di esondazione e quindi la pericolosità.

Il sistema di punteggi utilizzato è riportato nella seguente Tab1.

<p>Categoria A:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Punteggio base: 0 ▪ $F_{\min} < 1\text{m}$ + 2 ▪ $1 < F_{\min} < 1.5\text{m}$ + 1 ▪ $F_{\min} > 1.5\text{m}$ + 0 	<p>Categoria C:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Punteggio base: 0 ▪ $F_{\min} < 1\text{m}$ + 2 ▪ $1 < F_{\min} < 1.5\text{m}$ + 1 ▪ $F_{\min} > 1.5\text{m}$ + 0
<p>Categoria B:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Punteggio base: 1 ▪ $F_{\min} < 1\text{m}$ + 2 ▪ $1 < F_{\min} < 1.5\text{m}$ + 1 ▪ $F_{\min} > 1.5\text{m}$ + 0 	<p>Categoria D:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Punteggio base: 2 ▪ $F_{\min} < 1\text{m}$ + 2 ▪ $1 < F_{\min} < 1.5\text{m}$ + 1 ▪ $F_{\min} > 1.5\text{m}$ + 0

Tab1: sistema di punteggi utilizzato per la classificazione dei ponti.

A ciascun ponte viene assegnato un punteggio di base che dipende unicamente dal regime idraulico. Per i regimi A e C il punteggio è pari a 0 in quanto non vi sono forti incrementi di tirante rispetto allo stato indisturbato del moto. Per i regimi B e D sono previsti rispettivamente punteggi base pari ad 1 e 2, in quanto, sebbene in entrambi i casi vi sia transizione e formazione di un risalto idraulico, nel caso D (corrente indisturbata supercritica), si ha la formazione di un tratto in corrente lenta a monte del ponte, nel quale l'aumento del tirante idrico rispetto al moto indisturbato (supercritico) può essere assai marcato. Tale configurazione della corrente è inoltre particolarmente favorevole per l'accumulo del materiale solido e del legname trasportati dalla corrente a monte del restringimento..

In aggiunta al punteggio base si adottano ulteriori punteggi legati al franco minimo che si viene ad avere rispetto alla corda inferiore dell'impalcato del ponte (F_{\min}). Tale franco è indice della probabilità che il moto attraverso il ponte possa avvenire in pressione anziché a superficie libera (quando $F_{\min} \leq 0\text{m}$) ed anche della probabilità che il legname trasportato dalla corrente possa accumularsi a monte del ponte stesso causandone l'ostruzione con conseguenti esondazioni. Si assume che per un franco superiore ad 1.5 m la probabilità di ostruzione sia bassa, mentre per un franco inferiore ad 1.0 m la probabilità sia elevata. Nell'ambito della presente metodologia si assume quale punto debole ogni ponte per il quale si ottiene un punteggio superiore ad 1.

Analisi dei punti deboli di categoria (2):

Si considerano tutti i rilevati arginali in materiale sciolto che emergono dal piano campagna e che possono quindi essere soggetti a rottura in occasione delle piene. Dall'analisi degli eventi alluvionali storici riguardanti i fiumi arginati in Alto Adige, ed in particolare il fiume Adige, è emerso che nella maggioranza dei casi le inondazioni sono causate dal cedimento di tratti di argine sotto la spinta idrostatica della corrente in piena, ben prima del raggiungimento del massimo tirante di piena. Non è pertanto realistico considerare come punti deboli unicamente

le sezioni che presentano insufficiente capacità di deflusso; è necessario analizzare le condizioni di stabilità dei rilevati arginali, al fine di stabilire quali siano i tratti aventi maggiore propensione al cedimento. Le principali cause di dissesto arginale sono i fenomeni di sormonto, sifonamento, franamento, sfiancamento ed erosione.

Nella presente analisi i rilevati arginali vengono suddivisi in tratti aventi ciascuno una lunghezza pari a circa 100 metri. La procedura adottata prevede, per ciascun tratto, la valutazione della propensione al cedimento secondo un sistema di punteggi, che considera le seguenti caratteristiche macroscopiche degli argini:

- **Presenza di paleoalvei e loro assetto planimetrico rispetto all'alveo attuale (P):** nella maggior parte dei casi si tratta di antichi meandri. I rilevati arginali costruiti in corrispondenza dei tagli di meandro presentano generalmente caratteristiche di stabilità inferiori rispetto a quelli realizzati lungo il corso originale di un fiume, in quanto i lavori venivano eseguiti con maggiore rapidità per via della necessità di deviare le acque durante la costruzione. Inoltre poiché gli argini sono fondati sul materiale sciolto del greto del fiume, i moti di filtrazione sotto il corpo arginale sono maggiori rispetto ai rimanenti tratti arginali. Un paleoalveo si definisce *entrante* se il moto dell'acqua nel paleoalveo avviene in direzione entrante rispetto al corso attuale del fiume, *parallelo* se il moto dell'acqua nel paleoalveo avviene in direzione parallela al corso attuale del fiume ed *uscente* se il moto dell'acqua nel paleoalveo avviene in direzione uscente rispetto al corso attuale del fiume.

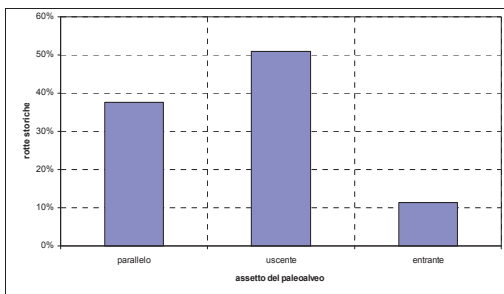


Fig3: rotte storiche ed assetto dei paleoalvei sul fiume Adige. Nella maggior parte dei casi le rotte sono avvenute in corrispondenza di paleoalvei uscenti o paralleli. In presenza di paleoalvei entranti, il fenomeno è più raro.

Dall'analisi statistica delle rotte storiche del fiume Adige fra la confluenza con il torrente Passirio ed il confine di provincia a sud di Salorno è emerso che la configurazione più sfavorevole per la stabilità degli argini è quella di paleoalveo uscente, seguita dal paleoalveo parallelo ed infine dal paleoalveo entrante, che risulta essere la condizione meno sfavorevole. Una giustificazione di questo fatto può essere data sulla base dei moti di filtrazione, che ancora oggi si hanno all'interno dei

paleoalvei e che ne seguono l'andamento. Un paleoalveo uscente favorisce il moto di filtrazione dal fiume verso il piano campagna (moto uscente), mentre un paleoalveo entrante tende ad ostacolare in parte tali moti di filtrazione.

Sulla base di queste considerazioni si è proposta la seguente scala di punteggi:

- Paleoalveo entrante: 1
- Paleoalveo parallelo: 2
- Paleoalveo uscente: 3

La determinazione del paleoalveo viene eseguita a partire dalla seguente cartografia: ortofoto e carte storiche (Culturrenskelettkarte del 1856 e Franziszeische Landesaufnahme del 1820).

- **Presenza di fontanazzi in prossimità del piede esterno dell'argine (F):** i fontanazzi sono causati dal sifonamento del terreno di fondazione degli argini, con asportazione di grosse quantità di terreno. Si tratta di fatto di una delle principali cause di cedimento dei rilevati arginali. La scala di punteggi adottata è la seguente:

- Sì 2
- No 0

I fontanazzi sono stati documentati ed archiviati nella banca dati della documentazione degli eventi storici.

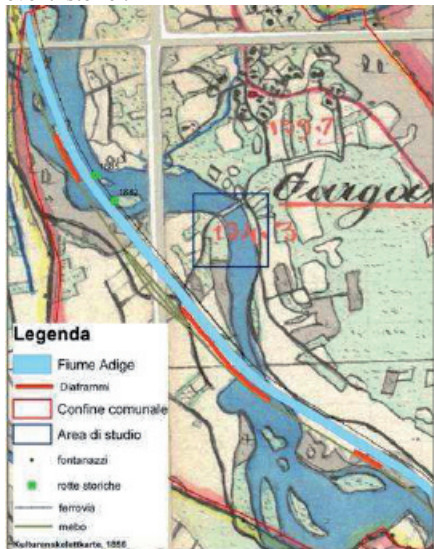


Fig4: Kulturrenskelettarte (1856), rotte storiche e corso attuale del fiume Adige presso Gargazzone

- **Classificazione delle curve (C):** in corrispondenza di curve la superficie libera si inclina trasversalmente all'asse fluviale, per effetto della forza centrifuga. In condizioni di corrente lenta si ha un innalzamento all'estradosso delle curve ed un abbassamento all'intradosso. Pertanto un rilevato arginale posto all'estradosso risente di un incremento della spinta idrodinamica per effetto della curvatura e dell'innalzamento locale del livello idrico, cui corrisponde un aumento del carico idrostatico. Viceversa, un argine posto all'intradosso risente di una riduzione della spinta idrodinamica, con un effetto migliorativo per la sua stabilità. La scala di punteggi utilizzata per tenere conto della curvatura è la seguente

- Intradosso: -1
- Tratto rettilineo: 0
- Estradosso: 1

- **Classificazione dello stato degli argini (S):** non essendo possibile una caratterizzazione di tipo geotecnico dei terreni costituenti i rilevati arginali, la presente metodologia prevede di considerare unicamente le caratteristiche macroscopiche quali la presenza di contrargini, diaframmi jet grouting o palancole. Tali strutture favoriscono la stabilità degli argini. La classificazione viene eseguita sulla base dei seguenti dati:

- presenza o meno di controargini; eventuali rilevati stradali adiacenti agli argini vengono considerati come contrargini (Sì/No);
- presenza o meno di opere di consolidamento arginale quali palancole, jet grouting o opere di sistemazione equivalenti (Sì/No);

Si assegna all'argine lo stato "buono" in presenza di due "sì", "medio" in presenza di un "sì" ed un "no", "scarso" in presenza di due "no". La scala di punteggi proposta è la seguente:

- Buono: 0
- Medio: 1
- Scarso: 2

- **Presenza di rotte storiche (R):** la presenza di rotte storiche in corrispondenza di un tratto arginale ne indica almeno qualitativamente la propensione alla rottura. La scala di punteggi adottata è la seguente:

- Sì 2
- No 1

Una volta assegnati i punteggi parziali a ciascun tratto arginale, il punteggio globale P_g per ciascun tratto viene calcolato secondo il seguente algoritmo:

$$Pg = (R \times S) + P + F + C$$

Il prodotto $R \times S$ è stato introdotto nel presente sistema di valutazione in quanto è necessario considerare che solitamente, in seguito ad eventi di rotta arginale ($R = 2$), gli argini vengono sistemati ad opera d'arte e quindi si trovano spesso in uno stato "buono" ($S = 0$), che ne garantisce ottime caratteristiche di stabilità.

L'analisi del presente sistema di punteggi è stata eseguita calcolando i risultati tutte le possibili combinazioni di valori di P, F, C, S ed R. In tutto sono possibili 108 combinazioni e P_g varia fra 0 (scarsa propensione al cedimento) e 10 (forte propensione al cedimento). Il grafico di Fig13 presenta la distribuzione in frequenza di P_g come risultato di tutte le possibili combinazioni. I risultati più frequenti si hanno nel range di valori attorno a $P_g = 4$ (circa il 20% dei valori).

Si definiscono le seguenti classi di propensione al cedimento:

• Debole Propensione al Cedimento (DPC):	$0 \leq P_g \leq 2$
• Media Propensione al Cedimento (MPC):	$3 \leq P_g \leq 6$
• Forte Propensione al Cedimento (FPC):	$7 \leq P_g \leq 10$

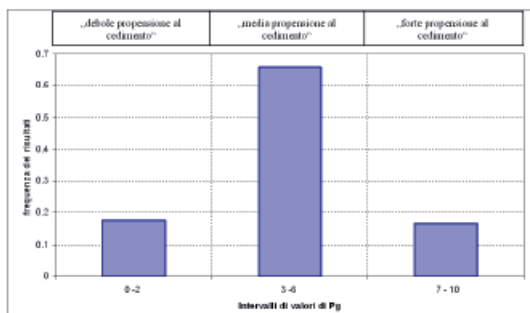


Fig5: frequenze relative alle classi caratterizzata da propensione al cedimento "debole-DPC", "media-MPC", "forte-FPC"

Nel grafico di Fig5, sono riportate le frequenze che ricadono nelle tre classi. Tali intervalli sono identificati rispettivamente come classi a "moderata", "media" e "forte" propensione al cedimento. Adottando la presente metodologia è possibile ricavare, sia pur secondo criteri puramente qualitativi, una classifica della propensione al cedimento. Si considerano punti deboli tutti i tratti arginali della classe FPC.

Fase 2 - Delimitazione delle aree allagabili

A seguito della determinazione dei punti deboli si è proceduto alla delimitazione delle potenziali aree allagabili. Per la simulazione delle alluvioni è stato utilizzato un modello bidimensionale su acqua bassa, in grado di simulare sia il fenomeno di esondazione, sia il fenomeno di dam break.

La procedura adottata prevede di effettuare una simulazione per ciascun punto debole individuato: si delimita il bacino idrografico sotteso ed attraverso l'applicazione della formula di portata di Kölla, lievemente modificata, si opera una stima del volume totale della piena e della frazione di volume esondante in corrispondenza del punto debole.

Le simulazioni vengono eseguite utilizzando un modello digitale del terreno avente una maglia di 10x10m. I risultati ottenuti sono in linea con quelli di analoghe simulazioni eseguite con una maglia 5x5m.

RISULTATI

Si riporta di seguito (Fig6) la carta dei punti deboli per esondazione dei principali corsi d'acqua di fondovalle dell'intero territorio altoatesino. La metodologia proposta è stata confrontata con i risultati di una modellazione idraulica di dettaglio eseguita sul fiume Adige. Dal confronto è emerso che i punti deboli ottenuti coincidono in gran parte con i punti di esondazione marcati da tempi di ritorno superiori a 200 anni.

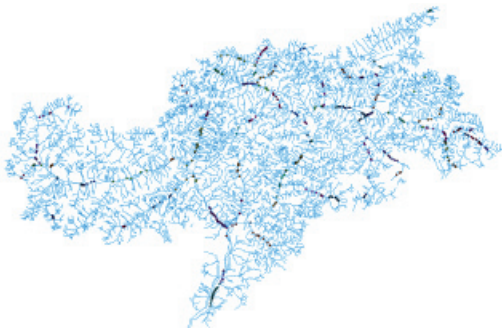


Fig6: punti deboli per il fenomeno di esondazioni sui principali corsi d'acqua di fondovalle altoatesini

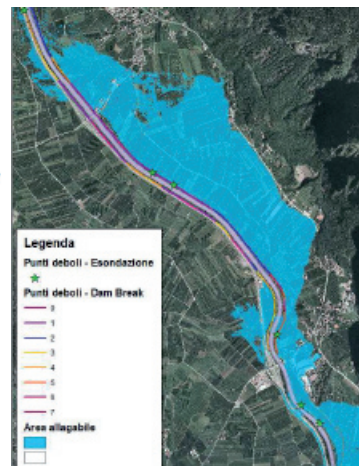


Fig7: carta indicativa dei pericoli naturali per il Fiume Adige nel tratto compreso fra i comuni di Gargazzone e Terlano

In Fig7 è riportata la carta dei fenomeni alluvionali per il fiume Adige fra i comuni di Gargazzone e Terlano. Per effetto del cedimento degli argini si sono ottenute aree allagabili assai estese, che tuttavia coincidono con le documentazioni e le memorie di eventi alluvionali storici, conseguenti a rotte arginali. Inoltre le aree allagabili ottenute non risultano interessare i nuclei storici dei centri abitati, sorti prima della sistemazione del fiume Adige, quando il fondovalle era paludoso e le alluvioni assai frequenti. Ciò conferma ancora di più la validità della metodologia adottata.

CONCLUSIONI

L'analisi dei punti deboli costituisce un presupposto fondamentale per la definizione di scenari di pericolo e per la redazione della carta indicativa dei pericoli naturali per corsi d'acqua di fondovalle e di pianura.

La metodologia proposta per la determinazione dei punti deboli per esondazione è stata applicata all'intero territorio altoatesino consentendo di individuare tutti i possibili punti di esondazione. La procedura adottata non considera il tempo di ritorno dei fenomeni e costituisce quindi un'analisi dello stato di fatto delle opere idrauliche e degli alvei fluviali. Sono stati evidenziati anche tutti i ponti che presentano problemi di rigurgito della corrente o di ostruzione da parte del legname e dei sedimenti trasportati.

È stata inoltre applicata la procedura proposta per l'analisi qualitativa dello stato dei rilevati arginali al fiume Adige tra la confluenza con il torrente Passirio ed il confine di provincia a sud dell'abitato di Salorno, ottenendo una classificazione della propensione al cedimento dei vari tratti arginali. La definizione dei punteggi necessita allo stato attuale di una valutazione da parte di un gruppo di esperti (expert elicitation) e di una verifica sulla base di eventi storici di rottura. L'influenza che le rotture arginali hanno sugli effetti delle piene fluviali evidenziano la necessità di studi approfonditi sui sistemi arginali. Ulteriori sviluppi di tale metodologia potranno derivare dall'interazione fra i diversi Enti e Istituzioni preposti alla gestione ed alla cura di fiumi arginati.

BIBLIOGRAFIA

- Armanini, A. (1999), „Principi di idraulica fluviale“, Editoriale Bios, 1999.
- Armanini, A. (1995), „Appunti delle lezioni di Sistemazione dei Bacini Idrografici“, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Trento, 1995
- Da Deppo, L. e Datei, C. e Salandin, P. (2002), „Sistemazione dei corsi d'acqua“, Liberia Cortina, Padova 2002
- Brunner G. W. (2002), “HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual”, US Army Corp of Engineers, Hydrologic Engineering Center, November 2002