



Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali

Aggiornamento e revisione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni

ALLEGATO I

Elementi tecnici di riferimento nell'impostazione del Piano

Distretto delle Alpi Orientali



SOMMARIO

1	ALLUVIONI NEL TERRITORIO DI PIANURA	5
1.1	LA MODELLAZIONE IDROLOGICA	5
1.1.1	<i>Raccolta dei dati pluviometrici e idrometrici</i>	6
1.1.2	<i>Elaborazione degli ietogrammi di progetto</i>	7
1.1.3	<i>Il modello di trasformazione afflussi-deflussi</i>	8
1.1.4	<i>Taratura e validazione</i>	10
1.2	LA MODELLAZIONE IDRAULICA	11
1.3	MAPPATURA DEL PERICOLO	12
2	ALLUVIONI NEL TERRITORIO DI COSTA	15
2.1	LA MODELLISTICA IDRAULICA	16
2.2	MAPPATURA DEL PERICOLO	17
3	ALLUVIONI PER FENOMENI DI COLATA	19
3.1	METODOLOGIA PER COLATA DETRITICA: LIVELLO DI ANALISI SPEDITIVO	21
3.1.1	<i>Superficie oggetto di classificazione</i>	21
3.1.2	<i>Mappatura della pericolosità</i>	23
3.2	METODOLOGIA PER COLATA DETRITICA: LIVELLO DI ANALISI DETTAGLIATO	25
3.2.1	<i>La modellazione idrologica</i>	27
3.2.2	<i>La modellazione idraulica</i>	30
3.2.3	<i>Mappatura del Pericolo</i>	37
4	ALLUVIONI TORRENTIZIE	39
4.1	METODOLOGIA DI ANALISI DETTAGLIATA PER ALLUVIONE TORRENTIZIA	39
4.1.1	<i>Procedura di modellazione</i>	39
4.1.2	<i>Scelta dell'idrogramma di progetto e calcolo del sedimentogramma associato</i>	39
4.1.3	<i>Modellazione idraulica</i>	40
4.1.4	<i>Mappatura del Pericolo</i>	46
5	I CAMBIAMENTI CLIMATICI	48
5.1	LE PROIEZIONI CLIMATOLOGICHE	49
5.2	MAPPATURA DEL PERICOLO LEGATA AL CAMBIAMENTO CLIMATICO	49
6	LA MAPPATURA DEL RISCHIO	50
6.1	LA PERICOLOSITÀ	53
6.2	LA DETERMINAZIONE DELLA VULNERABILITÀ	53
6.2.1	<i>Persone</i>	53
6.2.2	<i>Attività economiche</i>	54
6.2.3	<i>Ambiente e beni culturali</i>	59
6.3	LA DETERMINAZIONE DELL'ESPOSIZIONE	59
6.3.1	<i>Persone</i>	59
6.3.2	<i>Attività Economiche</i>	61
6.3.3	<i>Ambiente e beni culturali</i>	62
6.4	LA DETERMINAZIONE DEL RISCHIO	62
7	METODOLOGIA DI VALUTAZIONE DELLE MISURE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO	64
7.1	METODOLOGIA DI ANALISI DEI BENEFICI DI UNA MISURA	64
7.2	METODOLOGIA PER LA PRIORITIZZAZIONE DELLE MISURE DI PIANO	65
8	BIBLIOGRAFIA	69

1 Alluvioni nel territorio di pianura

Tenuto conto che uno degli obiettivi del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni è quello di mappare la propensione del territorio ad essere più o meno affetto da condizioni di allagabilità, le onde di piena sono state determinate facendo riferimento alla durata di precipitazione che massimamente sollecita il sistema idrografico nella sua interezza ovvero che, a scala di bacino e non di sottobacino, determina l'instaurarsi dei massimi volumi e livelli idrometrici.

Va chiarito che la trattazione sopra descritta è funzionale al processo di pianificazione, non alla progettazione di opere.

Nel contesto del ruolo e della funzione delle opere idrauliche esistenti nei diversi bacini idrografici, nell'analizzare i diversi scenari di piena si è tenuto conto anche dell'eventuale presenza di serbatoi ad uso di laminazione. In tal senso va ricordato che la direttiva P.C.M. 27/2/2004 recante "*Gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini della protezione civile*" impone che i serbatoi definiti a tale scopo devono essere dotati di appositi piani di laminazione. Pertanto, solo in presenza di questi piani di laminazione sono stati inseriti nella modellazione. In tutti gli altri casi, i serbatoi sono stati considerati "trasparenti", ovvero ininfluenti rispetto ai processi idrodinamici.

Nella casistica dei serbatoi "trasparenti" sono stati inclusi anche quelli nei quali è previsto il pre-svaso stagionale (piano statico previsto dal PAI). Il pre-svaso stagionale, per sua natura, non può essere considerato uno strumento sufficiente per le diverse casistiche nelle quali può configurarsi un evento alluvionale (p.es. picco di piena ripetuto), bensì a questo può essere assegnata al più una capacità di mitigazione periodica. Nella casistica più vasta dei possibili problemi di allagabilità del territorio legata alle efficienze delle opere idrauliche, sono stati considerati anche i possibili effetti dell'evento alluvionale dovuti alla rottura arginale per tracimazione. Il tema era peraltro già stato a suo tempo affrontato dal PAI dell'Alto Adriatico (Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, 2012).

1.1 La modellazione idrologica

Al fine di definire e caratterizzare i processi di produzione di deflusso e trasporto durante il manifestarsi di eventi alluvionali, è stato utilizzato uno schema di tipo geomorfologico, che ancora la risposta del bacino alle caratteristiche fisiche e geomorfologiche del sistema idrografico (Rodriguez-Iturbe e Valdes, 1979; Gupta *et al.*, 1980; Rodriguez-Iturbe e Rinaldo, 1997).

In particolar modo è stato adottato un approccio di tipo geomorfoclimatico (Ferri *et al.*, 2010), che si discosta dagli schemi prodotti nel passato, basati su ipotesi semplificative, come, ad esempio, l'assunzione di una distribuzione temporale uniforme (a scala di evento) delle precipitazioni e una sommaria descrizione geomorfologica del bacino con modelli Hortoniani, che non tengono conto della complessità della reale rete idraulica (Rodriguez-Iturbe *et al.*, 1982; Hall *et al.*, 2001; Verri *et al.*, 2008). Infatti, nel modello geomorfoclimatico implementato i tempi di residenza dei percorsi fuori rete sono legati all'intensità della precipitazione efficace considerata variabile non solo da evento ad evento ma, essendo tale ipotesi restrittiva, anche nel corso del singolo evento per poter meglio descrivere l'andamento in continuo della risposta idrologica.

Lo schema di calcolo utilizza l'informazione derivante da mappe digitali del terreno, dall'interpolazione geostatistica di dati meteorologici, da mappe di uso del suolo e pertanto si configura come distribuito nella descrizione dei processi ma concentrato nei parametri.

Vengono assunte le seguenti ipotesi di progetto per la determinazione degli idrogrammi con assegnata frequenza di accadimento con l'obiettivo di semplificare le procedure/tempi di calcolo nel rispetto della validità dei risultati:

1. il tempo di ritorno è riferito all'evento meteorico e quindi al volume di precipitazione caduto in un determinato intervallo temporale. Questo assunto trova giustificazione nella semplificazione della procedura di calcolo che si intende adottare e che in alternativa dovrebbe considerare la probabilità composta di molteplici variabili, quali la temperatura, lo spessore del manto nevoso, il grado di imbibizione del terreno, le condizioni di sicurezza dei corpi arginali esistenti al verificarsi dell'evento meteorico;
2. il modello idrologico viene utilizzato ad evento e non in modo continuo;
3. non vengono simulati i processi di accumulo-scioglimento nivale e di evapotraspirazione;
4. le condizioni iniziali delle variabili che entrano in gioco nella determinazione della precipitazione efficace sono determinate mediante taratura con riferimento all'evento storico di riferimento (più gravoso) registrato per il bacino idrografico in esame. Questo approccio permette di tenere conto di eventuali sottostime generate dall'introduzione dell'ipotesi 3.

Nel caso di analisi idrologiche su singoli sottobacini si assume quanto segue:

1. il potenziale di infiltrazione ad inizio evento è considerato minimo;
2. le perdite iniziali sono assunte circa pari al 10% del volume specifico di saturazione del suolo;

Con tali premesse, vengono di seguito approfonditi i fondamenti teorici e le fasi applicative della metodologia operativa impiegata.

1.1.1 Raccolta dei dati pluviometrici e idrometrici

La precipitazione è un fenomeno che presenta una grande variabilità sia spaziale che temporale. Nella modellazione dei fenomeni idrologici è necessario descrivere con precisione i campi di pioggia a partire dalle misure registrate nelle stazioni pluviometriche sparse nel territorio.

Tali dati devono coprire periodi di tempo sufficientemente lunghi da garantire la significatività delle proprietà statistiche che dovranno essere riprodotte dai modelli.

La base di dati del presente lavoro è costituita dalle misure di altezza di precipitazione al suolo, registrata su tutte le stazioni attive esistenti sul territorio. Nello specifico i dati di cui sopra sono stati acquisiti con frequenza oraria dal Servizio Dighe e dal Dipartimento Protezione Civile (Servizio Prevenzione Rischi) della Provincia Autonoma di Trento, dall'ARPAV della Regione Veneto (Centro Meteorologico di Teolo), dal Servizio Idraulica della direzione Centrale dell'Ambiente e dei Lavori Pubblici della Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia, dalla Protezione Civile della Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia, da ENEL e da EDISON S.p.A.

Sono stati inoltre recuperati dei valori massimi annuali di precipitazione di breve durata registrati tra il 1923 ed il 1998, consultando gli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

I dati sono stati omogeneizzati e organizzati in un geodatabase strutturato, che ha costituito la base di partenza per la loro validazione. In particolar modo solo le stazioni caratterizzate da numerosità campionaria almeno pari a 20 anni per tutte le durate analizzate, comprese nell'intervallo 1 ora-24 ore e 1 giorno-5 giorni, sono state utilizzate per le successive elaborazioni onde garantire una buona robustezza delle stime.

Infine, sono stati raccolti dagli Enti sopra richiamati anche i livelli idrometrici su sezioni strumentati lungo i corsi d'acqua dell'intero Distretto delle Alpi Orientali e le relative scale delle portate, ove disponibili.

1.1.2 Elaborazione degli ietogrammi di progetto

L'approccio utilizzato per la generazione delle precipitazioni di progetto (valore della precipitazione corrispondente ad un assegnato tempo di ritorno) richiede come primo approccio un'analisi approfondita dei dati storici a disposizione, in particolare è richiesta l'elaborazione di alcune statistiche opportune. Tali statistiche consentono la caratterizzazione della struttura delle precipitazioni che dovrà essere rispettata dalle precipitazioni sintetiche generate. In particolare, nel presente lavoro, vengono determinati il variogramma sperimentale e le proprietà statistiche del campo di pioggia (varianza e scala integrale).

Si calcola quindi il variogramma della variabile aleatoria h , l'altezza di precipitazione misurata nell'intervallo temporale di riferimento. Il variogramma è ottenuto come media dei variogrammi calcolati in ognuno degli intervalli temporali considerati. Il variogramma sperimentale è stato poi interpolato mediante la seguente legge esponenziale:

$$\gamma_h(r) = \sigma_h^2 \cdot [1 - e^{-Z}] \quad Z = \sqrt{\left(\frac{r_x}{I}\right)^2 + \left(\frac{r_y}{I}\right)^2} \quad (1)$$

nella quale r_x e r_y rappresentano le componenti secondo gli assi coordinati della distanza fra i due punti rispetto ai quali il variogramma è calcolato, I è la scala integrale di h e σ_h^2 è la varianza della variabile aleatoria h . Questo modo di operare implica a priori un'ipotesi di stazionarietà nello spazio e nel tempo delle caratteristiche delle precipitazioni, ipotesi questa che non è pienamente verificata. Tuttavia, ai fini dell'interpolazione spaziale dei dati osservati, recenti studi hanno dimostrato che il risultato finale non risente sensibilmente di quest'ipotesi, in quanto prevale il vincolo imposto dalle osservazioni nelle stazioni pluviometriche (Boni *et al.*, 2008; Zanetti *et al.*, 2008).

La stima dei parametri del modello, σ_h^2 e I , è ottenuta mediante il metodo dei minimi quadrati.

Le precipitazioni di progetto sono stimate sulla base del modello scala-invariante di Gumbel per le durate da 1 a 24 ore (scala oraria) e da 1 a 5 giorni (scala giornaliera) (Burlando e Rosso, 1991; 1996).

Secondo tale impostazione, la linea segnalatrice di probabilità pluviometrica si scrive nel modo seguente:

$$h_T(d) = a_1 \cdot \left\{ 1 - \frac{V \cdot \sqrt{6}}{\pi} [\varepsilon + y_T] \right\} \cdot d^n \quad (2)$$

dove $h_T(d)$ è il valore di precipitazione caratterizzato da tempo di ritorno T per una durata d di pioggia, $V = \frac{\sigma}{\mu}$ è il rapporto tra lo scarto quadratico medio σ e la media, ε è il numero di Eulero (0.5772157),

$y_T = \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$, a_1 e n sono parametri che vengono stimati mediante una regressione lineare dei

logaritmi delle medie campionarie delle altezze di pioggia massime annuali relative alle diverse durate rispetto ai logaritmi delle corrispondenti durate.

Fissato per ciascuna stazione pluviometrica il volume di precipitazione caduto per un dato evento meteorico, lo ietogramma viene determinato mediante l'uso di forme note in letteratura o caratteristiche per gli eventi estremi riscontrati nel comprensorio di riferimento (ad esempio Autorità di Bacino dei Fiumi

dell'Alto Adriatico, 2008). Nel caso in questione sono stati generati ietogrammi, utilizzando le seguenti ipotesi sull'andamento nel tempo delle altezze di precipitazione:

1. uniforme;
2. monotono crescente;
3. triangolare isoscele;
4. doppio colmo;
5. come risultato di un processo moltiplicativo binomiale casuale (Gupta *et al.*, 1993).

Nel processo di elaborazione, per tutte le diverse forme considerate, viene verificato che gli ietogrammi sintetici generati abbiano volumi di pioggia congruenti, per ogni durata, con la curva di possibilità pluviometrica associata al tempo di ritorno T .

Poiché la dimensione dei bacini idrografici del Distretto delle Alpi Orientali è maggiore e non comparabile con quella caratteristica dei fronti perturbativi, risulta inaccettabile l'assunzione di una precipitazione spazialmente uniforme che può portare inoltre ad una successiva sottostima delle portate al colmo (Moisello, 1999).

La distribuzione della pioggia nello spazio è stata ottenuta utilizzando il Kriging che rappresenta un efficace mezzo di interpolazione statistica di dati, essendo uno strumento di stima lineare ed ottimale.

Esso permette, a partire da una serie di dati osservati in diverse stazioni di misura, di calcolare il più probabile valore di precipitazione in un punto generico. Ripetendo il calcolo per i centri di ogni cella di una griglia regolare la cui risoluzione è stata fissata pari a 200 m, è possibile determinare la distribuzione della pioggia nello spazio.

1.1.3 Il modello di trasformazione afflussi-deflussi

La risposta idrologica del bacino idrografico viene stimata utilizzando un modello integrato in grado di riprodurre i processi di produzione e di propagazione dei deflussi.

I processi relativi alla generazione dei deflussi sono stati schematizzati risolvendo alla scala di sottobacino il bilancio idrologico applicato ad un volume di controllo rappresentativo del suolo idrologicamente attivo (zona vadosa). Il contenuto d'acqua nel suolo $S(t)$ viene aggiornato ad ogni passo di calcolo dt attraverso la seguente equazione di bilancio:

$$S(t + dt) = S(t) + I(t) - R_{sub}(t) - L(t) \quad (3)$$

in funzione delle componenti di infiltrazione I , deflusso ipodermico R_{sub} , percolazione profonda L . Nel generico intervallo di calcolo dt la quantità d'acqua infiltrata viene calcolata come la differenza tra la precipitazione $P(t)$ [mm] e il deflusso superficiale $R(t)$. La componente di ruscellamento superficiale è espressa in base all'equazione (4), proposta da De Smedt *et al.* (2000), che si basa su una soglia critica (dovuta al raggiungimento della saturazione del suolo), oltre la quale prevale un meccanismo di infiltrazione di tipo dunniano:

$$R(t) = \begin{cases} C \left(\frac{S(t)}{S_{max}} \right) P(t) \Rightarrow P(t) \leq f = \frac{S_{max} (S_{max} - S(t))}{(S_{max} - CS(t))} \\ P(t) - (S_{max} - S(t)) \Rightarrow P(t) > f \end{cases} \quad (4)$$

dove C è un coefficiente di deflusso a saturazione del suolo ottenuto da calibrazione, e S_{max} , contenuto d'acqua a saturazione, dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo. La sua valutazione è stata

ricondata a quella del parametro Curve Number CN (SCS, 1972), valutato facendo riferimento ad una condizione di umidità iniziale secca al fine di ottenere i valori massimi del volume specifico di saturazione S_{max} . Il deflusso sub-superficiale è considerato invece proporzionale alla differenza tra il contenuto d'acqua $S(t)$ al tempo t e quello alla capacità di campo S_c , attraverso l'equazione

$$R_{sub}(t) = c(S(t) - S_c) \quad (5)$$

dove $R_{sub}(t)$ è il deflusso sub-superficiale al tempo t , e c rappresenta un coefficiente empirico, funzione della velocità con cui il flusso sub-superficiale si muove nel terreno ed ottenuto da calibrazione. La stima della perdita per percolazione in falda viene valutata secondo l'espressione proposta da Laio *et al.* (2001):

$$L(t) = \frac{K_s}{e^{\beta\left(1-\frac{S_c}{S_{max}}\right)} - 1} \left(e^{\beta\left(\frac{S(t)-S_c}{S_{max}}\right)} - 1 \right) \quad (6)$$

dove K_s è la permeabilità idraulica effettiva del suolo in condizioni di saturazione, β è un esponente adimensionale caratteristico della dimensione e della distribuzione dei pori nel suolo. I valori di riferimento per tali parametri sono reperibili in letteratura in base agli studi di Cosby *et al.* (1984), Dingman (2002) e Lai e Katul (2000).

La funzione di trasferimento dei deflussi è sviluppata secondo la teoria geomorfologica della risposta idrologica per cui le distribuzioni dei tempi di residenza nei possibili percorsi all'interno del bacino sono legate all'idrogramma unitario istantaneo del bacino (Rodriguez-Iturbe e Rinaldo, 1997). Nel singolo sottobacino il contributo superficiale e subsuperficiale viene propagato alla sezione di chiusura assumendo nello stato versante una distribuzione dei tempi di residenza esponenziale

$$f(t) = ke^{-kt} \quad (7)$$

nello stato canale si adotta invece una distribuzione dei tempi di residenza di tipo diffusiva-convettiva (Rinaldo, 1991). La costante k dell'equazione (7), che non è altro che l'inverso del tempo di residenza nello stato versante, può essere calcolata come

$$k = \frac{v}{\bar{L}} \quad (8)$$

dove v è una velocità caratteristica di versante spazialmente uniforme a scala di sottobacino (parametro di calibrazione), che si differenzia in base alla tipologia di deflusso considerata (v_{sup} - superficiale e v_{sub} - subsuperficiale) e quindi ai diversi processi di trasporto in atto, mentre \bar{L} è una lunghezza media di versante calcolata come segue: 1) per ogni cella non canalizzata viene calcolata la lunghezza del percorso nella direzione di massima pendenza per raggiungere la prima cella canalizzata, 2) tali lunghezze vengono mediate sul sottobacino. Nel modello implementato, per il deflusso superficiale si è adottato un approccio geomorfoclimatico, facendo dipendere la velocità di versante del ruscellamento superficiale dall'entità dell'evento, e quindi dall'intensità della precipitazione efficace. A tale scopo si è introdotta la trattazione cinematica per il trasferimento dei deflussi, in base alla quale, per ogni cella versante, vale la seguente equazione:

$$\frac{R(t) \cdot A_{dren}}{B} = q(t) \quad (9)$$

dove $R(t)$ è la precipitazione efficace nel passo di calcolo d_t , A_{dren} è l'area drenata a monte della generica cella versante, B è la dimensione della cella, q è la portata specifica in transito nella cella. Esprimendo la velocità nella generica cella come

$$v = k_s \sqrt{S} y^{2/3} \quad (10)$$

dove k_s è il coefficiente di scabrezza e S è la pendenza della cella, in base alle (9) e (10) si ricava l'altezza d'acqua y nella cella

$$y = (q / (k_s \sqrt{S}))^{3/2} \quad (11)$$

Sostituendo la (11) nella (10) è possibile calcolare ad ogni passo di calcolo d_t la velocità di versante in funzione della precipitazione efficace media areale di sottobacino $R(t)$. Nota la distribuzione spaziale della velocità di versante nel sottobacino ed il percorso per raggiungere la prima cella canalizzata lungo la direzione di massima pendenza, il tempo di residenza relativo al percorso della cella i -esima si può ricavare in base alla:

$$t_{sup_i} = \sum_{j=1}^m \frac{B}{v_{sup_j}} \quad (12)$$

dove m è il numero di celle del percorso, ognuna caratterizzata dalla velocità di versante v_{sup_j} . La costante k può essere calcolata quindi in funzione della media dei tempi caratteristici (12) di tutti i possibili percorsi equiprobabili interni al sottobacino. La propagazione del deflusso superficiale alla sezione di chiusura del sottobacino avviene quindi attraverso un idrogramma unitario istantaneo geomorfoclimatico che assume una forma diversa per ogni passo di calcolo d_t in funzione dell'intensità della precipitazione efficace.

La propagazione del deflusso profondo alla sezione di chiusura di ciascun sottobacino viene invece modellata secondo lo schema concettuale del serbatoio lineare

$$Q_p = k_p V_p \quad (13)$$

dove k_p ($1/t$) è una costante di esaurimento determinabile da un'analisi con regressione esponenziale del tratto di esaurimento degli idrogrammi di piena.

1.1.4 Taratura e validazione

La calibrazione automatica dei parametri del modello idrologico viene effettuata utilizzando un adattamento dell'algoritmo di calcolo "SCE-UA". Tale metodo, originariamente sviluppato da Duan *et al.* (1992), è inserito in cascata nella catena modellistica globale e permette di ottenere il miglior set di parametri possibile in funzione del confronto fra dati simulati e misurati in corrispondenza di ogni sezione strumentata. In particolar modo al fine di limitare i parametri del modello idrologico da calibrare, essi sono stati ricondotti, ove possibile, alle caratteristiche fisiche dei singoli sottobacini e dei suoli, facendo riferimento a valori noti in letteratura (Cosby *et al.*, 1984; Dingman, 1994; Lai e Katul, 2000). Fanno eccezione i parametri C , c e v_{sub} , che sono stati invece ricavati con calibrazione automatica per i bacini posti a monte di sezioni strumentate mediante confronto tra idrogrammi osservati e simulati per eventi di piena significativi, e per il parametro k_p , determinato da un'analisi del tratto di esaurimento degli idrogrammi di piena.

Infine, sulla base dei parametri idrologici ottenuti dalla calibrazione, la congruenza della risposta dell'intero bacino idrografico simulata con il modello integrato (idrologico-idraulico) è stata valutata mediante un

confronto calcolato-osservato dei livelli idrometrici registrati nelle stazioni idrometriche ubicate lungo il reticolo di pianura e non considerate nella calibrazione del modello idrologico.

1.2 La modellazione idraulica

La propagazione dell'onda di piena nel territorio di pianura è indagata mediante modello idraulico mono-bidimensionale.

Fissato lo scenario, il dominio di calcolo sul quale viene sviluppata la procedura di calcolo ed indagato il grado di rischio nelle sue diverse fattispecie è costituito da tutte le porzioni di territorio che possono essere interessate dall'occupazione delle acque esterne all'area fluviale, ovvero quelle aree che possono essere inondate conseguentemente al sormonto spondale e/o al cedimento delle arginature durante eventi di piena di assegnata probabilità di accadimento. Per l'identificazione dell'area fluviale e la relativa disciplina di comportamento si rimanda all'Allegato V del Piano.

Conseguentemente il campo di moto per i territori potenzialmente affetti da esondazione è stato modellato con schema di tipo bidimensionale. La risoluzione della cella bidimensionale è 10m x 10m.

La protezione dalle inondazioni attraverso la realizzazione di interventi strutturali non è mai una condizione assoluta ed una diversa percezione di ciò può generare un falso senso di sicurezza. Il concetto di rischio residuo deve quindi essere sempre compreso nelle valutazioni di sviluppo del territorio.

Gli effetti derivanti dal possibile cedimento di una struttura di difesa idraulica durante un evento di piena rientrano ampiamente tra queste casistiche spesso non indagate negli strumenti di pianificazione. Ad esempio, la presenza di un argine viene solitamente interpretata, nel campo urbanistico, come una garanzia a tempo indeterminato permettendo uno sviluppo edilizio che non tiene conto di questo errato presupposto.

La stessa Commissione Europea (2003) raccomanda di tenere sempre presente che la protezione dalle inondazioni attraverso la realizzazione di interventi strutturali non è mai una condizione assoluta e di inserire tra gli scenari di valutazione anche il crollo o il mancato funzionamento dei medesimi.

A fronte, quindi, di questo delicato problema che coinvolge l'uso del territorio, la sua economia e non ultimo la pubblica incolumità, sono state effettuate alcune scelte di modellistica idraulica che tengono conto dei possibili fenomeni di formazione di brecce nei manufatti idraulici di protezione.

A fronte della non conoscenza del modello geotecnico dei corpi arginali, è stata considerata la formazione della breccia per solo sormonto e pertanto non è stata considerata la casistica di cedimento relativa ai fenomeni di sifonamento.

L'inizio della formazione della breccia è stato previsto in presenza di un franco arginale non nullo, pari a circa 20 cm, al fine di tener conto anche di possibili modifiche dei livelli idrometrici dovute a perturbazioni locali (effetto di onde) e dei cambiamenti climatici. Il modello (idraulico) concettuale adottato è stato impostato in modo non conservativo rispetto ai volumi sfiorati, mentre risulta conservativo rispetto alla formazione delle brecce. Sono state cioè considerate le possibili combinazioni delle rotture e dello sfioro degli argini operando successivamente l'involuppo degli scenari di allagamento. Questo in quanto, non conoscendo il modello geotecnico, non possono essere escluse a priori diverse combinazioni tra lo sfioro e i diversi punti di potenziale rottura.

Per la modellazione della formazione della breccia i riferimenti assunti sono stati quelli di Figura 1 con il tempo di innesco della breccia fissato pari a 20 minuti.

Nel caso di argini diaframmati il petto di sfioro è coinciso con la quota della sommità arginale (solo effetto di sfioro senza formazione di breccia).

La formazione del numero di brecce lungo le tratte critiche (Ranzi *et al.*, 2012), ha costituito una variabile di difficile determinazione in quanto da porre in relazione anche alla lunghezza delle tratte stesse. La risposta a tale questione è stata formulata in via semplificata individuando una distanza minima di formazione della breccia variabile da 1 a 3 km la cui definitiva valutazione è stata infine riferita ad ogni singola situazione locale (con particolare riferimento alla geometria dei corpi arginali), alle conoscenze storiche, nonché alle conoscenze disponibili sullo stato di manutenzione.

In relazione a quanto sopra esposto, le mappature ottenute attraverso l'involuppo degli allagamenti derivanti da scenari di formazione delle brecce arginali sono pertanto affette da una loro aleatorietà, dovuta al numero, alla posizione ed all'estensione delle brecce virtuali praticate. Tuttavia, il confronto dei risultati con eventi storici accaduti confermano - per molti aspetti - la rappresentatività di tali scenari e la ricorsività delle situazioni e dei luoghi ove si generano le criticità.

Per quanto riguarda le condizioni di marea utilizzate quale condizione al contorno per la modellazione delle reti fluviali, è stato fatto riferimento all'evento del 1966 per l'ambito costiero compreso tra l'Adige e il Tagliamento e al 1969 per quello compreso tra il Tagliamento e Trieste.

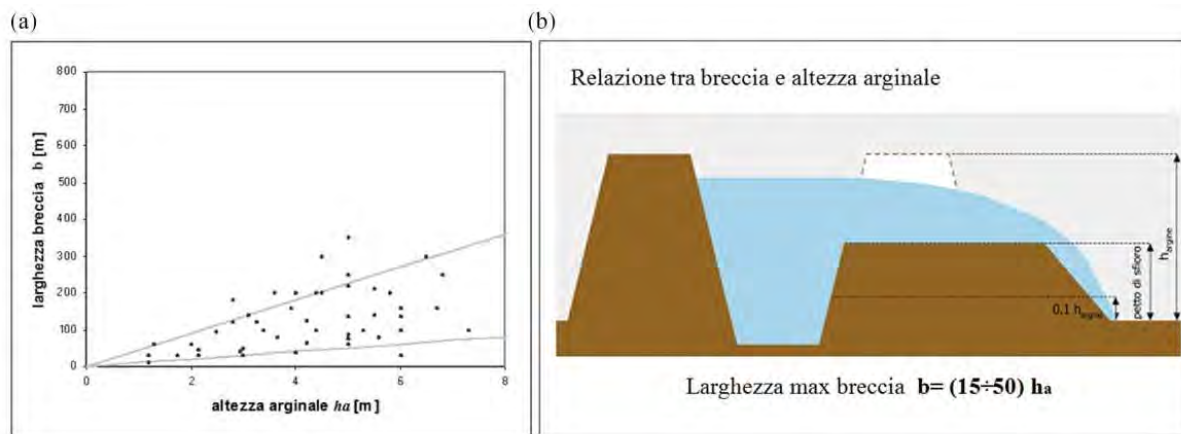


Figura 1: (a) Analisi di rotte arginali occorse: larghezza della breccia vs. altezza dell'argine misurato a lato campagna; (b) Schematizzazione della rotta arginale e relazione empirica tra larghezza della breccia e altezza dell'argine misurato a lato campagna.

1.3 Mappatura del Pericolo

La metodologia precedentemente descritta fornisce una rappresentazione della variabilità spaziale di altezza/tirante idrico e della velocità nelle aree oggetto di indagine per ciascuno dei tre scenari di pericolosità.

Noti nei vari punti del territorio i tiranti d'acqua massimi h e le velocità massime v che si manifestano durante un evento di piena, la condizione di pericolo è legata all'intensità del fenomeno (I), funzione di tirante e velocità.

La classificazione della pericolosità idraulica nei territori di pianura viene relazionata alla probabilità di accadimento di un evento alluvionale e alla sua intensità attraverso la matrice di BUWAL (Heinimann, 1998).

Vengono di seguito descritti i criteri operativi per definire la probabilità di accadimento, l'intensità dei fenomeni e la matrice di BUWAL nel territorio di pianura del Distretto delle Alpi Orientali.

I tre intervalli di tempo di riferimento per la valutazione della probabilità di accadimento dei fenomeni alluvionali sono gli stessi già definiti durante il I Ciclo di Gestione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA):

- probabilità di accadimento elevata: $Tr \leq 30$ anni;
- probabilità di accadimento media: $30 < Tr \leq 100$ anni;
- probabilità di accadimento bassa: $100 < Tr \leq 300$ anni.

Le grandezze di riferimento per la misura dell'intensità sono il tirante, assumendo il valore di 1 m per distinguere tra l'intensità bassa e quella media, e la velocità ($v \geq 1$ m/s) per individuare tutte quelle situazioni per le quali la velocità è sicuramente di intensità elevata, superiore o uguale a tale valore, come ad esempio nelle immediate prossimità dei rilevati arginali a seguito della formazione di brecce.

Sono pertanto individuate tre classi di intensità sulla base dei seguenti criteri idraulici:

- intensità bassa: $h < 1$ m;
- intensità media: $h \geq 1$ m;
- intensità elevata: $v \geq 1$ m/s.

Sono individuate tre classi di pericolosità, moderata (P1), media (P2) ed elevata (P3) attraverso la matrice di BUWAL modificata, riportata in Figura 2.

In aggiunta al criterio idraulico basato sulla funzione intensità precedentemente definita, viene prevista:

- la classificazione in pericolosità elevata (P3) per le zone contigue a difese arginali che in passato sono state sede di eventuali rotte e/o versano in cattivo stato di manutenzione. Nello specifico, in analogia a quanto stabilito dai Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo nazionale (Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave e Brenta-Bacchiglione, 2012) sono individuate delle fasce, parallele e adiacenti alla struttura arginale, dell'ampiezza orientativa di 150 m e di una lunghezza complessiva pari a quella della rotta, incrementata indicativamente di 500 m sia verso monte che verso valle (Figura 3). Sono assimilati alla medesima classe di pericolosità le aree in cui sono presenti fenomeni di erosione spondale, segnalate dalle Amministrazioni e/o già presenti nei PAI e i laghetti di cava (*criterio storico-geometrico*).
- la classificazione in pericolosità moderata (P1) delle aree storicamente allagate, delle aree a scolo meccanico, delle aree soggette a ristagno, delle aree soggette a risalita della falda freatica e ruscellamento (*criterio storico-idrogeologico*);
- la classificazione in pericolosità moderata (P1) per tutte le aree allagate in occasione di eventi caratterizzati da bassa probabilità di accadimento, fatta eccezione per le situazioni in cui è applicabile il criterio storico-geometrico.

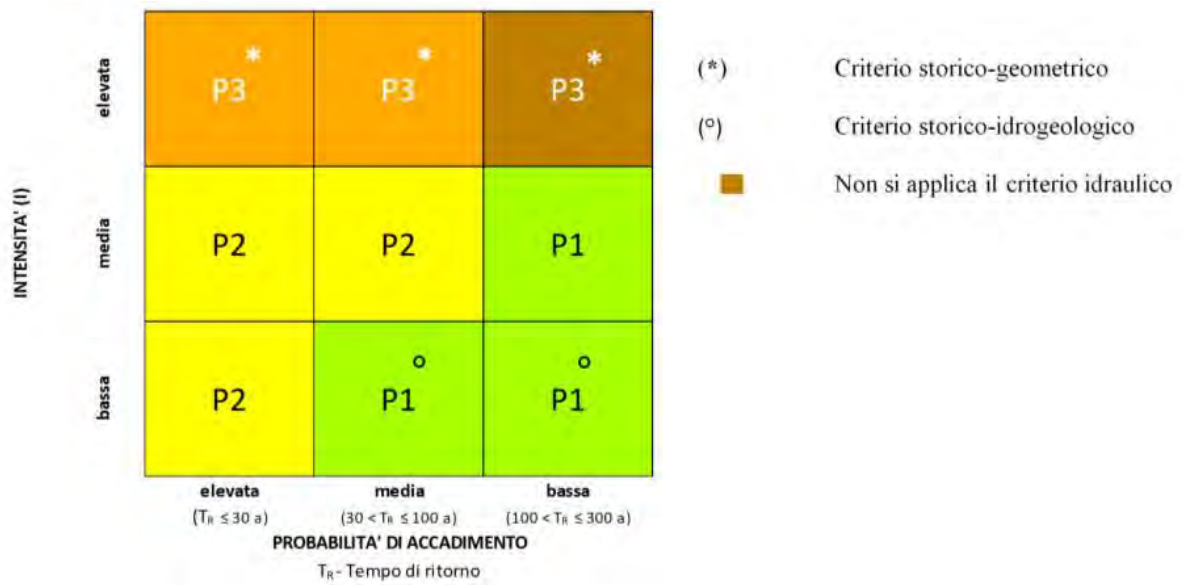


Figura 2: Matrice di classificazione della pericolosità per alluvioni nel territorio di pianura.

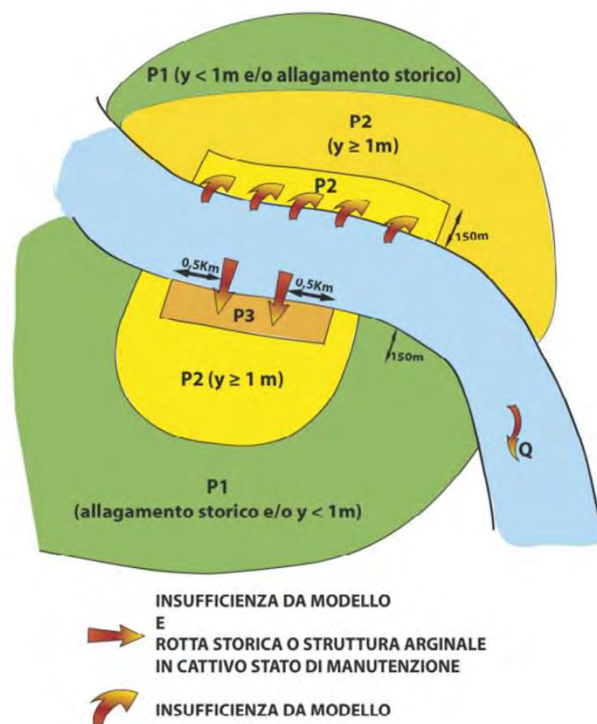


Figura 3: Esempio schematico di rappresentazione delle aree pericolose (Relazione generale del PAI).

2 Alluvioni nel territorio di costa

La generazione dei dati relativi a fenomeni di allagabilità dal mare delle zone costiere ha necessitato di una apposita e diversa metodologia. La metodologia di base adottata ha fatto riferimento ad un approccio con modello bidimensionale e, ove non è stato possibile implementare tale modello, si è fatto riferimento all'approccio semplificato sviluppato dalla Regione Emilia-Romagna.

Va, infatti, tenuto presente che il modello semplificato elaborato dalla Regione Emilia-Romagna non permette la determinazione delle velocità di propagazione delle acque esondate. Tuttavia, non si ritiene che ciò induca gravi sottostime degli effetti del fenomeno esondativo poiché, in generale, la propagazione dei livelli non avviene in maniera tale da rendere la velocità la grandezza fisica che più aggrava la condizione di pericolosità.

I criteri di applicazione sono stati stabiliti di concerto con tutte le autorità competenti sul territorio del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, quali il Magistrato alle Acque di Venezia, la Regione del Veneto, la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, l'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) - Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine - Servizio Laguna di Venezia, prendendo a riferimento studi e documenti predisposti dalla comunità europea e di letteratura.

Va precisato anche che, in mancanza di una precisa definizione normativa del "livello di protezione adeguato", della complessità dell'arco costiero di studio dovuta alla presenza di significativi fenomeni di subsidenza e della sua esposizione a violente mareggiate, nonché alla presenza di numerosi corsi d'acqua a carattere torrentizio, è stato scelto di non avvalersi dell'art. 6, comma 6, della direttiva 2007/60/CE14.

Nell'ambito del tema trattato si ritiene utile richiamare il significato di alcuni termini tecnici di non immediata comprensione (Figura 4).

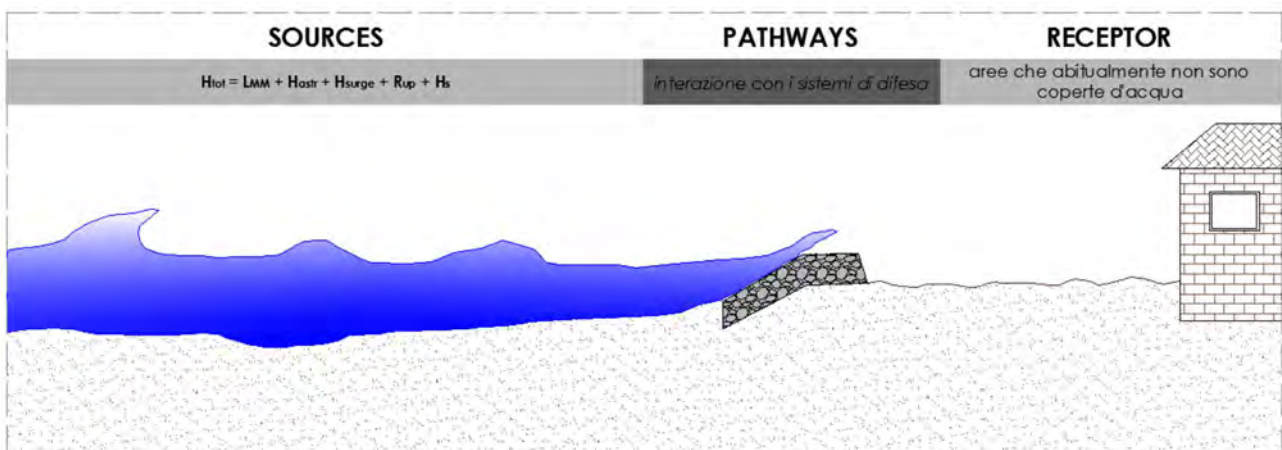


Figura 4: Schema con sequenza di studio.

Per sorgenti (sources) si intendono le grandezze fisiche che generano le condizioni di pericolosità, cioè le fonti del pericolo; per caratterizzare queste grandezze è necessario tener presente che il dato principale per la redazione delle mappe di allagabilità nelle aree costiere è rappresentato dalla probabilità di ricorrenza attribuibile al livello massimo totale che le acque marine possono raggiungere lungo la linea di costa.

Tale livello massimo H_{tot} può essere in generale composto dalla somma di vari termini:

$$H_{tot} = L_{MM} + H_{astr} + H_{surge} + H_{set\ up} + R_{up} + H_s \quad (14)$$

dove:

L_{MM} = livello medio mare dell'anno corrente. I valori medi dell'ultimo decennio riferiti allo Zero IGM 1942 sono: per Venezia (28.73 – 23.56) = 5.17 cm; per Trieste (16.50 - 23.56) = 7.06 cm;

H_{astr} = altezza relativa alla marea astronomica; sono state prese a riferimento le tavole annuali (di marea astronomica per Venezia) predisposte a cura di ISPRA, CNR-ISMAR di Venezia e Centro Maree del Comune di Venezia;

H_{surge} = massimo sovrizzo di marea dovuto a cause meteorologiche (i valori sono riportati in Tabella 1);

$H_{set\ up}$ = sovrizzo del medio mare dovuto alla presenza di onde (+40 cm per tutti gli scenari);

R_{up} = run-up ovvero il massimo livello di risalita sul profilo di costa (+40 cm per tutti gli scenari);

H_s = massima altezza dell'onda di sessa (valore incluso nel H_{surge}).

Il trasferimento (pathways) è la zona in cui i livelli marini da sottocosta, interagendo con i sistemi di difesa, si propagano successivamente nell'entroterra.

Per ricettori (receptor) si intendono le zone che abitualmente non sono coperte d'acqua e per le quali si dovranno determinare la pericolosità e il rischio.

2.1 La modellistica idraulica

In relazione ai dati disponibili, nel caso dell'area nord adriatica la caratterizzazione statistica dei valori di livello totale H_{tot} , per le probabilità di accadimento medie ed elevate, è stata basata sulla caratterizzazione statistica di livelli estremi di marea, secondo l'approccio sviluppato da Tomasin e Pirazzolli (2008). Per gli eventi rari, si è fatto riferimento ai valori della punta massima di marea raggiunta e certamente misurata (o quanto meno validata) nel corso di eventi alluvionali estremi, come ad esempio per Venezia il 4 novembre 1966 ($H_{MAX} = 194$ cm ZMPS) o per Trieste il 26 novembre 1969 ($H_{MAX} = 360$ cm ZIT). Sulla base di tali ipotesi sono stati assunti gli scenari di riferimento di Tabella 1.

Tabella 1: Valori di riferimento per il computo del livello massimo totale che le acque marine possono raggiungere lungo la linea di costa.

ZONA 1 da foce Adige a foce Tagliamento			
	Tr 30	Tr 100	Tr 300
$L_{MM} + H_{astr} + H_{surge}$	145	155	170
$H_{set\ up} + R_{up}$	+ 40 cm per ogni scenario		
ZONA 2 da foce Tagliamento a Trieste			
	Tr 30	Tr 100	Tr 300
$L_{MM} + H_{astr} + H_{surge}$	140	160	200
$H_{set\ up} + R_{up}$	+ 40 cm per ogni scenario		
<i>valori in cm sullo zero I.G.M.</i>			

Per definire le modalità di trasformazione delle altezze nel mare sul ricettore (pathways), in considerazione delle ipotesi sulla trattazione del R_{up} , si è reso necessario caratterizzare i sistemi di difesa presenti sull'arco costiero. Questi ultimi sono definiti come l'insieme di una o più opere che, insistendo su un tratto di costa, lo difendono dagli effetti degli eventi meteo-marini.

Per la classificazione si è tenuto conto dell'effetto smorzante che i sistemi possano offrire rispetto all'azione dinamica del mare, della loro capacità di resistere e non lasciarsi danneggiare nel tempo dal moto ondoso; della protezione che offrono rispetto all'alluvione definita come l'allagamento temporaneo, di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua. Sulla base di questi assunti, per tutto l'arco costiero di riferimento sono stati definiti cinque livelli di difesa rispetto a due parametri:

- affidabilità: parametro che tiene conto della tipologia costruttiva delle opere e della loro attitudine a difendere il territorio dagli eventi che principalmente causano le inondazioni;
- manutenzione: parametro che tiene conto dell'attuale stato di manutenzione, dei programmi di manutenzione futura e di piani di monitoraggio.

Per ogni tratto di costa, l'ente che ne ha in carico la gestione, tenendo conto di tali parametri, ha quindi espresso un giudizio esperto sui sistemi di difesa esistenti rappresentativo sia del livello di difesa attuale che di quello futuro attraverso il parametro legato alla manutenzione. Nell'esprimere il giudizio è stato tenuto presente il comportamento che i sistemi di difesa hanno avuto in corrispondenza di eventi passati. I livelli di difesa sono stati, quindi, sintetizzati come segue:

Tabella 2: Classificazione dei livelli di difesa costieri.

LIVELLO DI DIFESA	
L3	il sistema di difesa è in grado di resistere ai tre eventi (Tr30, Tr100 e Tr300) – le opere possono lasciarsi, eventualmente, sormontare ma non distruggere dai tre eventi considerati.
L2	il sistema di difesa è in grado di resistere ai soli eventi Tr30 e Tr100 – le opere possono lasciarsi, eventualmente, sormontare ma non distruggere dagli eventi Tr30 e Tr100 e sono trasparenti rispetto al Tr300
L1	il sistema di difesa è in grado di resistere al solo evento Tr30 – le opere possono lasciarsi, eventualmente, sormontare ma non distruggere dall'evento Tr30 e sono trasparenti rispetto a Tr100 e Tr300.
L0	il sistema di difesa non è in grado di resistere a nessun evento

La valutazione dei tiranti d'acqua che si possono presentare sul territorio ha quindi tenuto conto del livello di difesa offerto dall'insieme di opere che insistono sul tratto di costa considerato (valutato attraverso il giudizio esperto degli enti gestori che ne conoscono anche lo stato di manutenzione) secondo lo schema di Tabella 2.

Per ogni tratto di costa è stata definita la possibile resistenza delle opere di difesa agli eventi con probabilità di accadimento alto, medio, basso e ne è stato, quindi, simulato l'effetto del possibile sfondamento predisponendo le conseguenti mappe di allagabilità e di rischio.

2.2 Mappatura del Pericolo

La metodologia precedentemente descritta fornisce una rappresentazione della variabilità spaziale di altezza/tirante idrico nelle aree oggetto di indagine per ciascuno dei tre scenari di pericolosità.

Noti nei vari punti del territorio i tiranti d'acqua massimi h che si manifestano durante un evento di piena, la condizione di pericolo è legata all'intensità del fenomeno (I), funzione del tirante.

Sono pertanto individuate due classi di intensità sulla base dei seguenti criteri idraulici:

- intensità bassa: $h < 1$ m;
- intensità media: $h \geq 1$ m.

Sono individuate due classi di pericolosità, moderata (P1) e media (P2) attraverso la matrice di BUWAL modificata, riportata in Figura 5.

Intensità	media	P2	P2	P1
	bassa	P2	P1	P1
		alta $TR \leq 30a$	media $30a < TR \leq 100a$	bassa $100a < TR \leq 300a$
		Probabilità		

Legenda:
■ Pericolosità media (colore giallo)
■ Pericolosità moderata (colore verde)

Figura 5: Matrice di interazione per fenomeni di alluvione costiera.

3 Alluvioni per fenomeni di colata

Sono di seguito descritte le metodologie adottate per l'analisi dei fenomeni di colata detritica. Per tutte le conoidi oggetto di studio è stata applicata la metodologia di analisi di livello speditivo (vedi paragrafo 3.1); nei casi in cui si è resa necessaria una più accurata definizione delle condizioni di pericolosità o nel caso di territori fortemente antropizzati si è applicata anche la metodologia dettagliata (vedi paragrafo 3.2).

I fenomeni di tipo puramente geologico (crolli, ribaltamenti, frane, scivolamenti) e quelli non incanalati non sono stati oggetto di analisi. La tipologia di fenomeno è stata identificata sulla base di documentazione storica, testimonianze, fotointerpretazione e analisi cartografiche, analisi morfometrica e rilievi in campo. Durante questi ultimi è stata utilizzata per la raccolta dati la scheda di rilievo del sistema bacino-conoide (Allegato IA), mutuata da quella proposta nell'ambito della convenzione tra IRPI-CNR e la Regione Veneto (Cavalli *et al.*, 2015).

I principali parametri e le informazioni raccolti nella scheda bacino-conoide e il loro utilizzo per la determinazione della tipologia di fenomeno (colata detritica, alluvione torrentizia o fenomeno puramente geologico) sono i seguenti:

- analisi di dati storici: le informazioni storico-documentali reperite presso enti pubblici (ministero, regioni, province, comuni, ...) e/o soggetti privati (aziende, proprietari terrieri, ...) forniscono indicazioni circa la tipologia e la frequenza dei fenomeni che in passato hanno interessato il bacino idrografico;
- analisi morfometrica: la propensione del sistema ad innescare fenomeni di colata è valutata con la metodologia proposta da Bertrand *et al.* (2013), ovvero in funzione dell'indice di Melton Mel (Melton, 1965) e della pendenza della stessa calcolata tra l'apice ed il punto più basso lungo il perimetro dell'unghia della conoide. L'indice di Melton, che è un indicatore della genesi della conoide, è calcolato come segue:

$$Mel = \frac{(H_{max} - H_{min}) / 1000}{\sqrt{A}} \quad (15)$$

dove H_{max} e H_{min} [m s.l.m.] sono la quota massima e minima del bacino chiuso all'apice della conoide e A [km²] è l'area del bacino stesso. Queste informazioni sono ricavate da un Modello Digitale del Terreno (DTM) con lato della cella non superiore a 5 m derivato da idonea base dati.

Le condizioni limite per l'innescare dei fenomeni di colata sono definite con la seguente relazione:

$$S_{cr} = e^{0.23} Mel^{-0.85} \quad (\text{Bertrand, Liébault e Piégay, 2013}) \quad (16)$$

dove S_{cr} [°] è il valore limite della pendenza. La pendenza della conoide è calcolata come il rapporto tra dislivello e lunghezza della bisettrice della conoide (oppure la lunghezza del tratto d'alveo che la attraversa). Un'applicazione grafica del metodo è presentata in Figura 6.

- valutazione della disponibilità di sedimento mobilizzabile: un'elevata disponibilità di sedimento può indicare una propensione del sistema ad innescare fenomeni di colata. Per l'analisi della connettività dei flussi di sedimento all'interno del bacino si rimanda agli strumenti proposti da Cavalli *et al.* (2015).

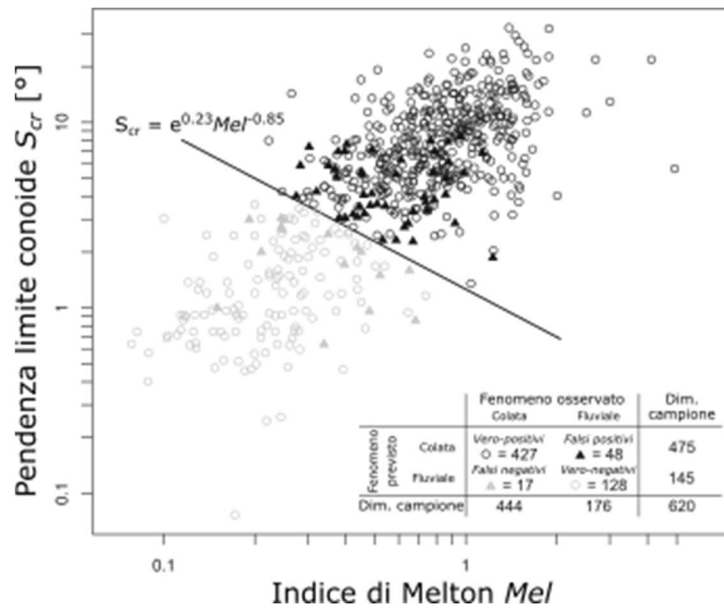


Figura 6: Previsione della risposta della conoide con l'indice di Melton (adattato da Bertrand, Liébault e Piégay, 2013). I punti al di sopra della curva rappresentano conoidi propense a sviluppare fenomeni di colata.

- rilievo geomorfologico in campo e fotointerpretazione: queste analisi permettono l'individuazione delle forme di deposito laterale e frontale caratteristiche dei fenomeni di colata detritica o alluvione torrentizia. A titolo esemplificativo si elencano alcune forme tipiche delle colate: depositi di forma lobata caratterizzati da una brusca terminazione frontale (zona di deposizione netta e ben definita); argini laterali lungo i canali di deflusso; depositi con granulometria eterogenea e con massi e ciottoli immersi in una matrice fine. Le forme legate ai fenomeni torrentizi possono invece essere depositi con superfici con passaggio più graduale fra la zona di deposito e le aree esterne alla stessa. I depositi sono generalmente poveri di matrice fine e presentano strati con alternanza tessiturale (Aulitzky, 1980; Costa, 1984; Johnson e Rodine, 1984);
- censimento delle opere di sistemazione idraulica: la natura e il livello di funzionalità delle opere idraulico-forestali forniscono indicazioni sulla tipologia di fenomeno atteso e l'influenza delle opere sullo stesso.

Sono stati definiti tre livelli di funzionalità secondo i seguenti criteri:

- funzionalità *buona*, quando l'opera è strutturalmente integra ed efficiente e sono disponibili sia il progetto dell'opera che il piano di manutenzione. In particolare, nel caso di strutture di intercettazione del flusso (vedi APAT, 2003), è disponibile un piano di manutenzione per lo svuotamento periodico dell'opera;
- funzionalità *scarsa*, quando l'opera è strutturalmente integra ed efficiente, ma non è disponibile il piano di manutenzione;
- funzionalità *assente*, quando l'opera riporta danni evidenti e/o la sua integrità strutturale è compromessa.

Data la complessità e la varietà dei fenomeni connessi alle colate detritiche, le metodologie adottate potranno essere aggiornate e migliorate alla luce di nuove esperienze scientifiche ed applicative.

3.1 Metodologia per colata detritica: livello di analisi speditivo

3.1.1 Superficie oggetto di classificazione

La metodologia speditiva per la mappatura della pericolosità da fenomeni di colata detritica su conoide si basa su osservazioni di campagna, analisi dei dati storici e considerazioni relative alla morfologia del territorio, oltre che sul calcolo dell'estensione del deposito a partire da formule empiriche di letteratura. Le caratteristiche morfometriche della conoide e del bacino sono ricavate con strumenti GIS da un Modello Digitale del Terreno (DTM) con dimensioni della cella non superiori a 5x5 m derivato da idonea base dati.

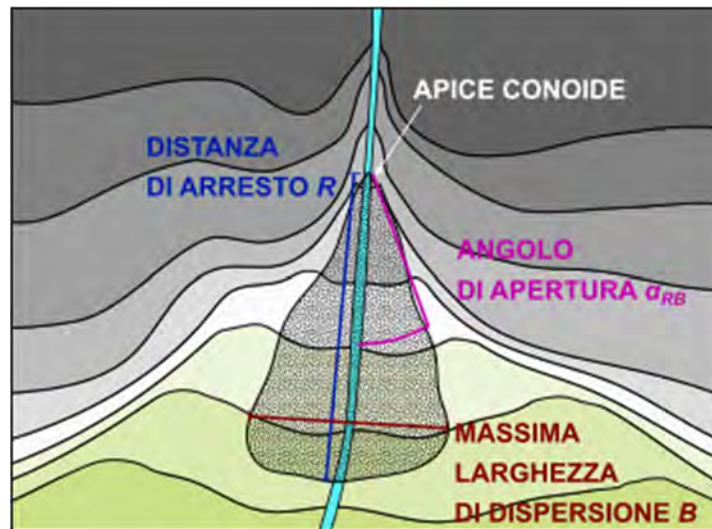


Figura 7: Schematizzazione dei parametri descrittivi dell'estensione del deposito di una colata detritica.

L'estensione del deposito è descritta tramite la distanza di arresto (*runout distance*, R), la massima larghezza di dispersione (B) e l'angolo di apertura del deposito (α_{RB}), rappresentati in Figura 7. Questi parametri sono calcolati a partire da formule derivate sulla base di dati di campo relativi a un grande numero di eventi di colata detritica avvenuti nell'arco alpino. Secondo queste formulazioni, sia la distanza di arresto R che la massima larghezza di dispersione B sono funzione del volume del sedimento depositato e calcolato con la seguente formula, derivata dai dati sperimentali presentati in Marchi *et al.* (2019):

$$V_{SED} = 52000 A^{0.94} \quad \text{per } A < 1 \text{ km}^2 \quad (17)$$

$$V_{SED} = 29440 A^{0.89} \quad \text{per } A \geq 1 \text{ km}^2$$

dove V_{SED} è il volume del sedimento depositato [m^3] e A è l'area del bacino chiusa all'apice della conoide [km^2] derivata dal Modello Digitale del Terreno. L'apice della conoide è individuato tramite analisi dei fenomeni storici, analisi cartografiche e osservazioni in campo.

La distanza di arresto R [m] è calcolata con la seguente espressione (Rickenmann, 1994; riportata in Bathurst, Burton e Ward, 1997), la cui validità per l'area dolomitica è stata verificata sperimentalmente (D'Agostino, Cesca e Marchi, 2010):

$$R = 25 V_{SED}^{0.3}. \quad (18)$$

Infine, la massima larghezza di flusso B [m] è espressa in funzione di R tramite una relazione derivata da esperimenti di laboratorio (Cesca, 2008) nei quali è stato utilizzato materiale prelevato in campo

$$B \cong R. \quad (19)$$

Questa relazione fra B e R consente di calcolare un angolo di apertura del deposito α_{RB} pari a circa 26.6° .

L'area potenzialmente soggetta a pericolosità da colata, di seguito definita *superficie oggetto di classificazione*, è stata individuata secondo la procedura seguente, illustrata anche in Figura 8:

1. se è presente un'area di attenzione, la sua estensione è validata mediante il confronto con dati cartografici (ortofotocarte, DTM) e con sopralluoghi in campo per garantirne la coerenza con la morfologia del terreno. Eventuali zone che non possono essere raggiunte dal flusso (quali tratti di versante a quote più elevate della conoide) sono escluse dalla mappatura del pericolo;
2. l'area massima teorica di estensione del deposito è definita come un settore circolare con vertice nell'apice della conoide, raggio pari a R , corda pari a B e bisettrice allineata con la direzione del canale principale (se individuabile) o con la linea di massima pendenza. Quest'ultima è ricavata a partire dal DTM e validata con osservazioni in campo, specialmente se la conoide ha morfologia complessa o la risoluzione del dato topografico è bassa;
3. l'area individuata al punto 2 è validata per garantirne la coerenza con la morfologia del terreno secondo gli stessi criteri utilizzati per l'area di attenzione (punto 1);

La superficie oggetto di classificazione non comprende quindi zone che non possono essere interessate dalla colata in ragione della morfologia del terreno, quali ad esempio i versanti ai lati della conoide, il versante opposto al piede della conoide stessa, aree protette da rilevati stradali, ecc.

Si sottolinea inoltre che i parametri R e B fanno riferimento alla superficie interessata dal deposito della frazione solida della colata. Laddove a valle di questa zona sono presenti forme del terreno o rilevati tali da causare l'accumulo della frazione più liquida della colata, le aree a monte di queste forme e strutture, anche se esterne alla superficie oggetto di classificazione precedentemente definita sono state aggiunte alla superficie stessa.

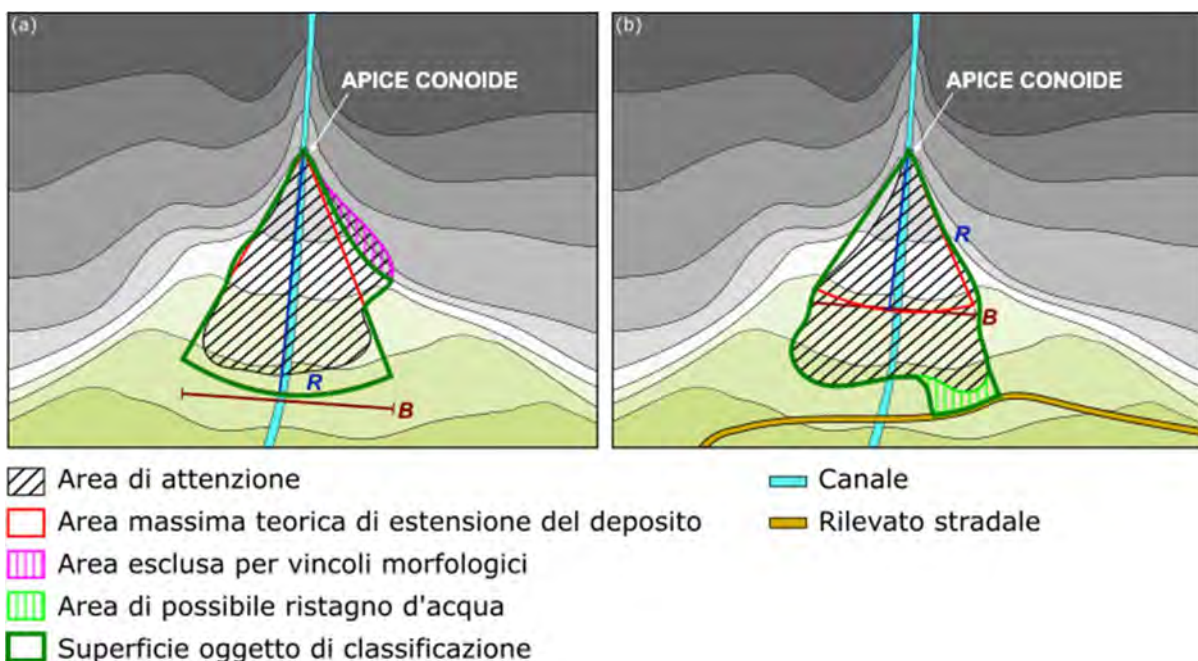


Figura 8: Definizione della superficie oggetto di classificazione: nel caso (a) l'area in rosa appartiene ad un'area di attenzione identificata nel PAI ma è stata esclusa dalla classificazione perché ricade sul versante; nel caso (b), l'area in verde chiaro è a rischio accumulo della frazione liquida (ristagno d'acqua) per presenza di un rilevato stradale.

3.1.2 Mappatura della pericolosità

Area sulla conoide

Per la definizione dei livelli di pericolosità sono stati presi in considerazione i seguenti fattori:

- la massima estensione teorica del deposito definita dai parametri geometrici R e B ;
- la presenza di opere che possono trattenere, deviare od orientare il flusso;
- la presenza di aree a bassa pendenza che possono favorire l'arresto della colata;
- la presenza di processi attivi negli ultimi 100 anni, desunta da documentazione, testimonianze ed evidenze in campo;
- la potenziale sovrapposizione di fenomeni nel caso di conoidi contigue o interdigitate.

La classificazione è stata realizzata in prima istanza sulla base dei primi due fattori (estensione teorica del deposito e presenza di opere). Sono stati identificati cinque scenari in funzione della presenza/assenza di opere di difesa quali le strutture di canalizzazione del flusso con sponde e fondo non erodibili e/o stabilizzate, le strutture di diversione del flusso e le strutture di intercettazione del flusso (vedi APAT, 2003). Le opere sono state prese in considerazione per la mappatura della pericolosità solo nel caso in cui la loro funzionalità sia stata giudicata *buona*, mentre se la funzionalità dell'opera è *scarsa o assente* in via cautelativa si è trascurato l'effetto della struttura.

Gli scenari sopra richiamati sono:

- a) assenza di opere di difesa (Figura 9a): l'assenza di opere fa sì che le divagazioni d'alveo siano possibili e la loro direzione difficilmente prevedibile. Di conseguenza, tutta l'area della conoide che si trova ad una distanza dall'apice inferiore a R ha grado di pericolosità P3; l'area rimanente ha pericolosità P2;
- b) opere di canalizzazione del flusso (Figura 9b): queste opere sono prese in considerazione solo se interessano l'intera lunghezza del canale sulla conoide. Si individua un'area a pericolosità P3 simmetrica rispetto all'asse del canale con vertice corrispondente all'apice della conoide, raggio pari a R e corda pari a B . Inoltre, lungo l'opera nel tratto a valle dell'area precedente si individua un'ulteriore area a pericolosità P3 definita come buffer del canale e con larghezza totale pari a B . Nel caso in cui le opere di canalizzazione non coprano l'intera lunghezza del canale si ritiene che siano possibili divagazioni d'alveo nel tratto non protetto e quindi si ricade nello scenario a);
- c) opere di diversione del flusso (Figura 9c): la presenza di un'opera di diversione del flusso riduce la pericolosità a P1 sulla porzione di conoide a valle di essa. Questa parte dell'area è definita (i) a monte dal paramento di valle dell'opera e (ii) ai due estremi dell'opera da una linea retta che forma un angolo pari ad α_{RB} (26.6°) con la linea di massima pendenza locale. La rimanente parte della conoide è classificata come nello scenario a);
- d) opere di intercettazione all'apice della conoide con volume superiore al volume del flusso (Figura 9d): se il volume della piazza V_P è superiore al volume del sedimento depositato V_{SED} , l'area della piazza ha pericolosità P3 e la rimanente parte dell'area di attenzione ha pericolosità P1. Il canale a valle della piazza ha pericolosità P3;
- e) opere di intercettazione all'apice della conoide con volume inferiore al volume del flusso (Figura 9e): se il volume della piazza è inferiore a V_{SED} , si ipotizza che il volume della colata a valle dell'opera sia pari a $V_R = V_{SED} - V_P$. Si procede quindi al calcolo dei parametri descrittivi dell'estensione del deposito B_R e R_R con il volume ridotto V_R e ci si riconduce allo scenario appropriato in base alla presenza/assenza di altre opere sulla conoide. Il canale a valle della piazza ha pericolosità P3;

In presenza di più opere, la mappa del pericolo è stata realizzata sovrapponendo gli effetti delle singole opere. Ad esempio, se vi è un'opera di canalizzazione del flusso immediatamente a valle di una struttura di

diversione, si applicano i criteri di cui al punto b) a partire dall'imbocco del canale. In presenza di elementi esposti e configurazioni complesse che non possono essere ricondotte agli scenari sopraelencati è stato applicato il metodo di analisi dettagliato. Infine, in presenza di opere in grado di modificare la natura del fenomeno da colata detritica ad alluvione torrentizia, alle aree a monte dell'opera è stato assegnato in ogni caso il livello di pericolosità P3.

Le aree così individuate sono state declassate dove sono presenti zone con pendenza locale ridotta che inducono l'arresto del flusso della colata. Evidenze sperimentali mostrano che la pendenza limite per l'arresto è dell'ordine del 3-5% (Benda, 1985). Quindi, fatte salve le prescrizioni indicate ai precedenti punti, per le aree distali della conoide con pendenza locale inferiore al 3%, ma comunque ricadenti all'interno della superficie oggetto di classificazione, il pericolo è stato riportato al livello immediatamente inferiore, ad eccezione delle aree con pericolosità P1 che sono rimaste invariate.

La mappatura del pericolo così definita è stata applicata a tutti i casi in cui l'analisi della documentazione storica ha fornito evidenza di almeno un evento di colata negli ultimi 100 anni o in cui si siano riscontrati segni di attività dei processi sulla conoide durante il rilievo in campo. Nei casi in cui si è potuto verificare che non sono avvenuti eventi di colata negli ultimi 100 anni, le aree definite secondo i precedenti criteri sono state declassate secondo i seguenti criteri:

- le aree corrispondenti alle opere di canalizzazione, diversione e intercettazione mantengono il livello di pericolosità P3;
- le rimanenti aree con livello P3 sono declassate a P2;
- le aree con livello P2 sono declassate a P1;
- le aree con livello P1 ed eventuali superfici già declassate non subiscono modifiche.

Infine, nel caso di conoidi contigue o interdigitate, l'analisi è stata condotta per ciascuna di esse separatamente e successivamente è stata prodotta una mappa di sintesi che indica in ogni punto il massimo livello di pericolosità.

Area a monte della conoide

La porzione di zona di attenzione che si estende a monte dell'apice della conoide, dove presente, è stata classificata con livello di pericolosità P3. Dove non è individuata alcuna zona di attenzione, la superficie oggetto di mappatura è stata estesa lungo il canale a monte della conoide secondo la seguente procedura (vedi Figura 9f):

1. la traccia del canale è stata estratta dalla mappa vettoriale dei corsi d'acqua, se disponibile, o dalla carta tecnica ed è stata verificata per confronto con il DTM;
2. la superficie interessata dal flusso della colata a monte dell'apice della conoide è stata definita in prima istanza come *buffer* della traccia del canale e quindi corretta sulla base della morfologia del terreno, con particolare attenzione al grado di confinamento del canale. Ad esempio, la superficie è stata ristretta nei tratti confinati (valle fortemente incisa, gola in roccia, ecc.) ed estesa fino a comprendere tutte le aree potenzialmente interessate dal flusso nei tratti parzialmente confinati o non confinati la superficie.

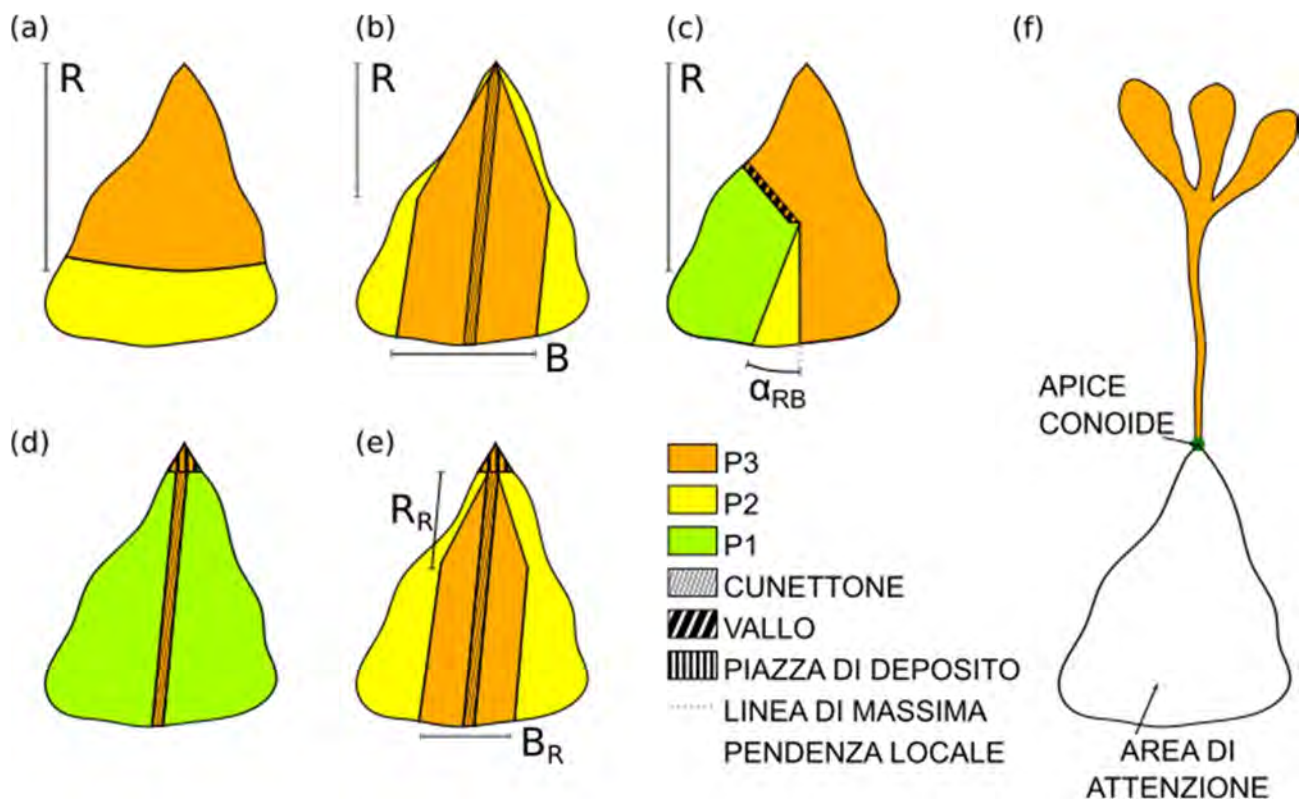


Figura 9: Scenari per la mappatura della pericolosità sulla conoide e nel tratto a monte della conoide.

3.2 Metodologia per colata detritica: livello di analisi dettagliato

Per la simulazione dei fenomeni di colata si è utilizzato il modello bidimensionale bifase a fondo mobile DFRM sviluppato dal TESAF (Bernard *et al.*, 2019) e messo a disposizione attraverso la piattaforma SIGMA (<https://sigma.distrettoalpiorientali.it/>).

Il dato topografico di riferimento è il Modello Digitale del Terreno (DTM) con celle di lato non superiore a 2 m. Il DTM è stato ricavato da rilievo topografico, laser terrestre, LiDAR o fotogrammetria digitale ad alta risoluzione. Dove si sono verificati fenomeni di colata di elevata intensità nel periodo intercorso tra l'acquisizione del dato e la modellazione, si è verificato che il DTM fosse ancora rappresentativo della topografia locale.

La modellazione segue un modello concettuale che si può sintetizzare come segue:

1. identificazione dei punti di innesco tramite analisi cartografica preliminare associata ad evidenze raccolte in campo;
2. analisi idrologica per la generazione degli idrogrammi liquidi e solido-liquidi per ogni punto di innesco;
3. definizione e verifica del dominio di calcolo e individuazione delle sezioni di uscita e di controllo del modello;
4. inserimento e modellazione delle opere idrauliche;
5. definizione dei parametri di modellazione;
6. simulazione preliminare per l'individuazione di eventuali sezioni critiche del dominio di calcolo, ovvero attraversamenti a rischio di ostruzione e punti di possibile divagazione d'alveo;
7. definizione e simulazione degli scenari di ostruzione e divagazione;
8. verifica dei risultati delle simulazioni per garantirne la coerenza con la morfologia del territorio;
9. inviluppo degli scenari.

Per ogni fenomeno oggetto di indagine, all'interno del bacino sotteso all'apice della conoide sono stati individuati uno o più punti di innesco della colata detritica sulla base di evidenze di campo, eventi storici e caratteristiche morfometriche del bacino, utilizzando per quest'ultimo aspetto i seguenti criteri, mutuati da Cavalli *et al.* (2015):

- pendenza locale S non superiore a 39° (81%): questo valore limite è prossimo all'angolo di attrito interno caratteristico di materiali detritici (Gregoretto *et al.*, 2018). Si assume che pendenze superiori a 39° non consentano l'accumulo dei materiali, o che il volume dei depositi sia trascurabile;
- relazione fra pendenza locale ed area contribuente definita secondo il legame derivato empiricamente da Zimmermann *et al.* (1997) e già applicato con successo in altri contesti regionali italiani (Kaless, 2006): ai possibili punti di innesco è associata una pendenza locale S superiore al valore limite S_{inn} definito come:

$$S_{inn} = 0.32A^{-0.2} \quad (20)$$

L'area sottesa al punto d'innesco è tipicamente dell'ordine del km^2 . All'interno del bacino chiuso all'apice della conoide possono essere presenti anche sottobacini che, in ragione delle loro caratteristiche morfologiche, sedimentologiche e di copertura del suolo non sono propensi alla formazione di colate detritiche. Questi sottobacini possono comunque generare un contributo di portata liquida rilevante che può modificare la concentrazione della colata e quindi influenzare i processi di trasporto (si veda ad esempio Gregoretto *et al.*, 2018). Di conseguenza, sono stati presi in considerazione per la modellazione anche i sottobacini non propensi alla formazione di colate detritiche (ovvero con solo contributo liquido) la cui area sottesa è comparabile con le aree sottese ai punti di innesco individuati secondo la procedura di cui sopra.

La modellazione idrologica di tutti i sottobacini così definiti (con innesco di colata o con solo contributo liquido) è stata effettuata con le procedure indicate al paragrafo 3.2.1.

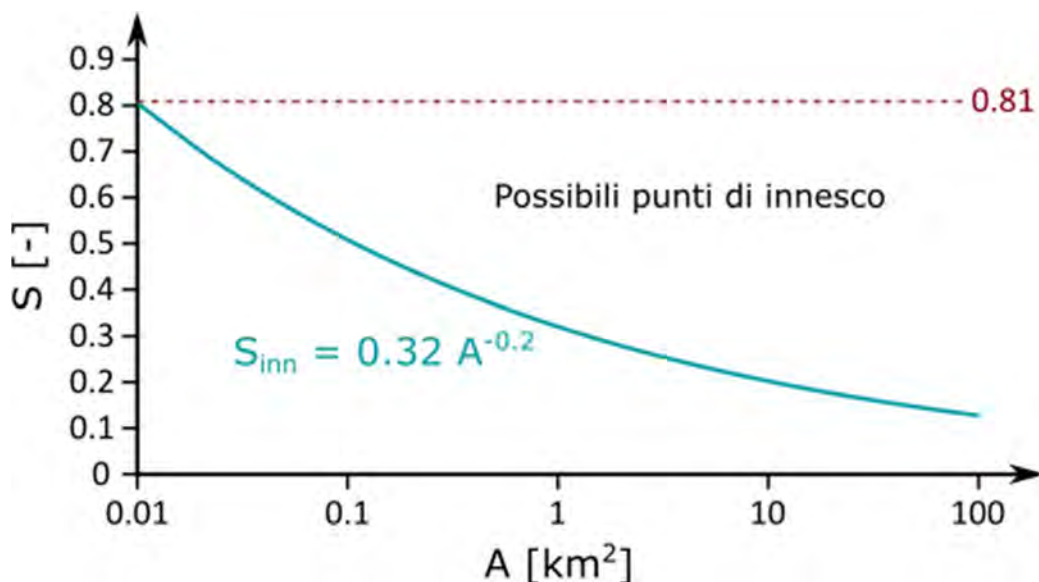


Figura 10: Rappresentazione grafica della relazione tra area contribuente e pendenza per l'identificazione dei possibili punti di innesco.

3.2.1 La modellazione idrologica

Idrogramma liquido

Le ipotesi idrologiche assunte derivano sia da studi sul monitoraggio dei deflussi superficiali e delle colate detritiche (Berti *et al.*, 2000; Hürlimann, Rickenmann e Graf, 2003; Berti e Simoni, 2005; Imaizumi *et al.*, 2006; Gregoretti e Dalla Fontana, 2008; Kean *et al.*, 2012; Gregoretti *et al.*, 2016; Rengers *et al.*, 2016) sia da studi aventi come fine la ricostruzione post-evento di fenomeni di colata (Gregoretti *et al.*, 2018, 2019). L'area contribuente alla generazione di un evento di colata ha in genere dimensioni dell'ordine del km² e tempi di risposta inferiori all'ora (Berti e Simoni, 2005; Kean *et al.*, 2012; Gregoretti *et al.*, 2016).

Sono state assunte, pertanto, le seguenti ipotesi di progetto per la determinazione degli idrogrammi di progetto con assegnata frequenza di accadimento a monte dei punti di innesco della colata, con l'obiettivo di semplificare le procedure/tempi di calcolo nel rispetto della validità dei risultati:

- il tempo di ritorno è riferito all'evento meteorico e quindi al volume di precipitazione caduto in un determinato intervallo temporale. Questo assunto trova giustificazione nella semplificazione della procedura di calcolo adottata e che in alternativa dovrebbe considerare la probabilità composta di molteplici variabili, quali la temperatura, lo spessore del manto nevoso, il grado di imbibizione del terreno, le condizioni di sicurezza dei corpi arginali esistenti al verificarsi dell'evento meteorico;
- il modello idrologico viene utilizzato per simulare il singolo evento e non per ricostruire il bilancio idrologico di lungo termine (ad esempio a scala annuale). Di conseguenza, si considerano solo le componenti rilevanti per gli eventi estremi;
- non vengono simulati i processi di evapotraspirazione;
- il potenziale di infiltrazione ad inizio evento è considerato minimo;
- le perdite iniziali sono assunte circa pari al 10% del volume specifico di saturazione del suolo.

A tal fine la base di dati utile è costituita dalle misure di altezza di precipitazione al suolo, registrata su tutte le stazioni attive esistenti sul territorio, acquisiti con frequenza sub-oraria ed oraria dagli enti pubblici competenti e da enti privati quali ad esempio i gestori degli impianti idroelettrici. Si può fare riferimento inoltre ai valori massimi annuali di precipitazione di breve durata disponibili negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

L'approccio proposto per la generazione delle precipitazioni di progetto (valore della precipitazione corrispondente ad un assegnato tempo di ritorno) richiede l'elaborazione di alcune statistiche dei dati storici a disposizione.

La dimensione dei bacini di colata è comparabile con quella caratteristica dei fronti perturbativi. Per tale motivo si è scelto di associare a un determinato bacino lo ietogramma di progetto derivato dalla stazione pluviometrica ottenuta selezionando tra quelle più prossime la stazione posta alla quota maggiore. È stato infatti riscontrato da analisi sperimentali che le precipitazioni caratteristiche dei fenomeni di colata sono quelle che interessano i versanti rocciosi posti alle quote superiori dei bacini (C. Gregoretti - Corso per la modellazione dei fenomeni di colata, Regione Veneto - Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali, novembre 2019, Venezia).

Una volta fissato per la stazione pluviometrica scelta il volume di precipitazione caduto per un dato evento meteorico, la sua distribuzione temporale (ietogramma) è determinata mediante l'uso di due forme note in letteratura, a blocchi alternati e costante (Chow, Maidment e Mays, 1988) secondo la seguente formulazione:

- a) ietogramma a blocchi alterni di durata pari al tempo di concentrazione, capace di generare un idrogramma (I1) che massimizza il valore del picco di portata. Con questo metodo si calcolano

direttamente le altezze di pioggia incrementali corrispondenti ad n intervalli di tempo sub-orari Δt successivi in cui è stata suddivisa la durata totale della pioggia. Dalla curva di possibilità pluviometrica si ricavano le altezze di pioggia per ciascuna durata $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t \dots n\Delta t$ (altezze cumulate); facendo la differenza tra le altezze di pioggia corrispondenti a due durate successive si ottiene la pioggia incrementale relativa a ciascun intervallo considerato (blocchi). I blocchi così ottenuti vengono poi riordinati in una sequenza temporale con la massima intensità in corrispondenza dell'intervallo di picco. I blocchi rimanenti vengono disposti alternativamente a cavallo dell'intervallo di picco (Bernard *et al.*, 2019);

- b) ietogramma a intensità di precipitazione costante, capace di generare un idrogramma (I2) che massimizza il volume liquido contribuente alla colata (Gregoretti e Bernard, 2019).

Le durate di pioggia critica, ovvero quelle che massimizzano il picco di portata (idrogramma I1) o il volume liquido contribuente alla colata (idrogramma I2) sono state individuate, per ciascun punto di innesco e ciascun tempo di ritorno, generando una famiglia di ietogrammi con uguale volume di precipitazione e durata crescente e compresa indicativamente tra 15 minuti e alcune ore e quindi confrontando i corrispondenti idrogrammi. Poiché la superficie dei bacini che generano le colate detritiche è tipicamente ridotta, le durate di pioggia che massimizzano il picco di portata sono generalmente inferiori all'ora. Di conseguenza, si sono utilizzati ietogrammi ad alta frequenza temporale (un dato ogni 1-10 minuti) e valori di durata con scansione di 5 minuti (durate di 15, 20, 25, 30 minuti eccetera).

Nel processo di elaborazione, per le forme considerate è necessario verificare che gli ietogrammi di progetto generati abbiano volumi di pioggia congruenti, per ogni durata, con la curva di possibilità pluviometrica associata al tempo di ritorno T .

La risposta idrologica del bacino idrografico è stata stimata utilizzando un modello idrologico che riproduce la separazione dei deflussi adottando un approccio misto dunniano e hortoniano.

Si sottolinea inoltre che le indicazioni di cui sopra sono da intendersi come valide generalmente per i bacini interessati dai fenomeni oggetto della presente metodologia; ciascuna area è stata indagata valutando specificatamente i parametri sopra descritti.

Idrogramma liquido efficace

La porzione dell'idrogramma che contribuisce alla colata o *idrogramma liquido efficace* (Figura 11) è definita tramite il calcolo di una portata critica per unità di larghezza del canale q_{CRIT} [$m^3/s/m$] come proposto in Gregoretti e Dalla Fontana (2008):

$$q_{CRIT} = 0.195 (s - 1)^{0.5} g^{0.5} d_m^{1.5} (\tan\beta_l)^{-1.27} \quad (21)$$

dove s è il rapporto tra la densità dei sedimenti ρ_s [kg/m^3] e quella dell'acqua ρ [kg/m^3] (assunta pari a $1000 kg/m^3$), g è l'accelerazione di gravità [m/s^2] (pari a $9.81 m/s^2$), d_m è il diametro medio del materiale movimentato nella zona di innesco [m] e β_l è l'angolo di inclinazione della zona di innesco [$^\circ$]. L'angolo β_l è stato derivato dal Modello Digitale del Terreno, mentre d_m è stato valutato con metodi di campionamento numerali o ponderali (Bunte e Abt, 2001; Döring *et al.*, 2017). In assenza di informazioni dettagliate riguardo alla distribuzione granulometrica nella zona di innesco (ad esempio per inaccessibilità dell'area), si è utilizzato un valore di d_m compreso fra 0.15 e 0.25 m.

Con il calcolo della portata critica si individuano gli istanti iniziale e finale dell'idrogramma efficace, identificati rispettivamente con t_{CRIT} e t_f e il volume liquido contribuente alla colata V_L è calcolato come l'integrale della portata liquida compresa fra questi istanti.

Idrogramma solido-liquido o debrisgramma

Il volume totale della colata V_{SL} è la somma del volume liquido e del volume del sedimento V_{SED} :

$$V_{SL} = V_L + V_{SED} \quad (22)$$

L'andamento temporale della portata totale della colata Q_{SL} (portata comprensiva della portata liquida Q_L e della frazione solida) o *debrisgramma* è derivato dall'idrogramma liquido secondo la seguente relazione:

$$Q_{SL} = Q_L \left(\frac{c^*}{c^* - C} \right) \quad (23)$$

dove C è la concentrazione della colata mentre c^* è la concentrazione di riposo del materiale. L'idrogramma solido-liquido è la condizione al contorno nel punto di innesco, dove c^* assume tipicamente valori compresi fra 0.7 e 0.75 (si veda anche la sezione relativa ai parametri del modello).

L'andamento temporale della concentrazione della colata C è definito come segue:

- Idrogramma di tipo I1: l'andamento temporale di C può essere rappresentato con le forme indicate negli schemi di Figura 11 (concentrazione costante C_{max}) e Figura 12 (concentrazione costante C_{max} fino al picco della portata liquida, quindi linearmente decrescente fino a C_{min}). Nel caso in cui il punto d'innesco è individuato in una sezione in cui la colata arriva già sviluppata, si utilizza la schematizzazione di Figura 12;
- Idrogramma di tipo I2: concentrazione costante nel tempo (vedi Figura 11);
- Sottobacini con solo contributo liquido: concentrazione costante nel tempo indipendentemente dal tipo di idrogramma (vedi Figura 11).

La concentrazione della colata è un parametro di calibrazione. Per i valori di riferimento si rimanda al paragrafo 3.2.2.

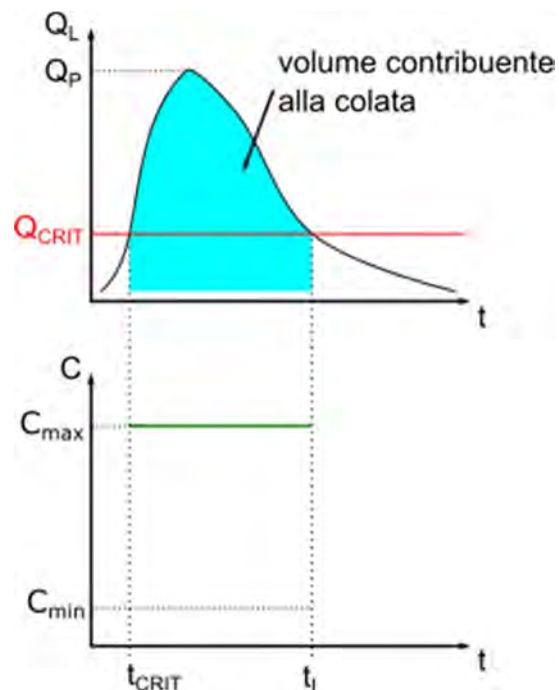


Figura 11: Schematizzazione del volume contribuyente alla colata con andamento temporale della concentrazione C costante.

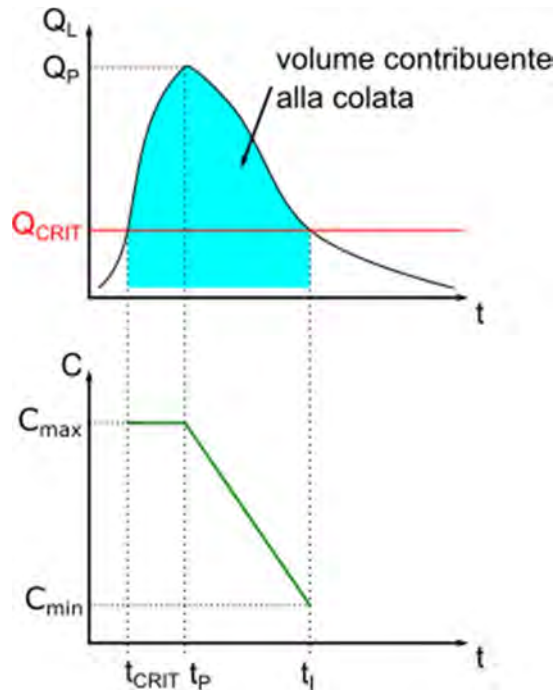


Figura 12: Schematizzazione del volume contribuyente alla colata e con andamento temporale della concentrazione C variabile nel tempo.

3.2.2 La modellazione idraulica

Definizione e verifica del dominio di calcolo

L'area del dominio di calcolo è stata individuata secondo i seguenti criteri:

- l'estensione del dominio di indagine deve essere adeguata alla completa rappresentazione dei fenomeni di interesse;
- l'area del dominio deve comprendere interamente l'area di attenzione, qualora presente, con l'esclusione di eventuali zone che non possono essere interessate dalla colata in ragione della morfologia del terreno, quali ad esempio i versanti ai lati della conoide e il versante opposto al piede della conoide stessa.

Le sezioni di input del modello sono state definite in corrispondenza delle sezioni di chiusura del modello idrologico, che per i sottobacini propensi alla formazione di colate detritiche coincidono con i punti di innesco. La sezione di chiusura del modello idraulico è stata collocata in modo da intercettare completamente il flusso che esce dal dominio e al di fuori dell'area di attenzione, qualora presente, in modo da rappresentare completamente il fenomeno di interesse. Sono state definite inoltre una o più sezioni di controllo dove il dominio presenta delle criticità (ad esempio: restringimenti di sezione, attraversamenti e possibili zone di divagazione) o dove è necessario ottenere l'andamento temporale delle variabili di interesse.

Inserimento e modellazione delle opere

La geometria delle strutture, dove presenti, è stata rilevata in campo per la corretta simulazione delle stesse nel modello numerico. Queste sono state rappresentate nel modello come celle di quota nota con proprietà meccaniche (scabrezza, erodibilità) assegnate in funzione della tipologia della struttura e della sua funzionalità. Di seguito sono elencati i criteri generali per la schematizzazione delle principali tipologie

di opere. Nel caso di strutture con geometria particolarmente complessa (come, ad esempio, le briglie a finestre, a reticolo e a pettine) è necessaria un'accurata valutazione caso per caso della geometria e del comportamento dell'opera e può essere necessaria la modellazione della struttura e della zona circostante con alta risoluzione spaziale.

Si distinguono due tipologie principali di opere in funzione dell'azione che esercitano sul flusso: (i) opere di difesa dall'erosione del fondo e delle sponde e (ii) strutture di intercettazione della colata (per le definizioni si fa riferimento ad APAT, 2003).

Nel caso (i), le opere sono state modellate come segue:

- a) funzionalità *scarsa* o *assente*: le celle corrispondenti alle opere sono considerate erodibili;
- b) funzionalità *buona*: le strutture sono simulate come celle non erodibili di quota nota derivata dal DTM e verificata con rilievo in campo;

Nel caso (ii) ricadono le opere di intercettazione che possono essere presidiate a valle da strutture quali briglie a fessura, a finestre, a reticolo o a pettine oppure quelle non presidiate da strutture verticali. Le prime sono state modellate, a seconda della loro funzionalità, come segue:

- a) funzionalità *assente* (Figura 13a): si ipotizza che la piazza di deposito sia piena e che la briglia sia a rischio di erosione/scalzamento. Le celle corrispondenti alla briglia si considerano erodibili, mentre alle celle corrispondenti alla piazza di deposito a monte della briglia si assegna una quota pari al massimo tra la quota locale del DTM e la quota della sommità del coronamento della briglia. Il processo di erosione/scalzamento della briglia viene simulato agendo sui parametri del modello per aumentare l'erosione ed ostacolare il deposito nelle celle corrispondenti alla struttura. In particolare, alle celle corrispondenti alla briglia è assegnata una pendenza molto alta verso valle per favorire l'erosione mentre la concentrazione di riposo del materiale c^* è aumentata per ostacolare il deposito sopra l'accumulo esistente;
- b) funzionalità *scarsa* (Figura 13b): si ipotizza che la piazza di deposito sia piena e che la briglia non sia danneggiata dall'evento di colata, ma che le aperture (fessura, finestre, reticolo, pettini) siano completamente ostruite dal materiale. Le celle corrispondenti alla briglia non sono erodibili e hanno quota pari alla sommità del coronamento. Come nel caso di opere con funzionalità bassa, alle celle corrispondenti alla piazza di deposito a monte della briglia si assegna una quota pari al massimo tra la quota locale del DTM e la quota della sommità del coronamento della briglia;
- c) funzionalità *buona* (Figura 13c): si ipotizza che la piazza di deposito sia vuota e che la briglia non sia danneggiata dall'evento di colata, ma che la fessura sia completamente ostruita dal materiale. Le quote delle celle corrispondenti alla piazza di deposito sono modificate in base al progetto dell'opera in modo da ricostruire la geometria del fondo della piazza. Per quanto riguarda la schematizzazione della briglia, è necessario valutare caso per caso se le aperture possono essere ostruite da massi ed eventuale materiale vegetale. Per queste valutazioni si fa riferimento al progetto dell'opera e ad evidenze sperimentali (Piton *et al.*, 2017; Bernard *et al.*, 2019) ed è necessario tenere conto di eventuali altre opere di intercettazione presenti a monte della struttura in esame. Se la probabilità di ostruzione risulta alta, le celle corrispondenti alla briglia non sono erodibili e hanno quota pari alla sommità del coronamento come nel caso b). Nel caso opposto, compatibilmente con la risoluzione spaziale del DTM e la complessità della geometria, si rappresenta l'apertura assegnando alle celle corrispondenti la quota del fondo della fessura stessa.

Le opere di intercettazione non presidiate da strutture verticali sono state invece modellate come segue:

- d) funzionalità assente (Figura 13d): si ipotizza che la piazza di deposito sia piena. Alle celle del modello corrispondenti alla piazza di deposito si assegna una quota linearmente decrescente dal punto immediatamente a monte dell'opera al margine di valle della stessa. Tutte le celle sono erodibili;
- e) funzionalità scarsa (Figura 13e): si ipotizza che la piazza di deposito sia piena. A differenza del punto *d*, le celle corrispondenti al muro che confina la piazza non sono erodibili;
- f) funzionalità buona (Figura 13f): si ipotizza che la piazza di deposito sia vuota. Le quote delle celle corrispondenti alla piazza di deposito sono modificate in base al progetto dell'opera in modo da ricostruire la geometria del fondo della piazza. Le celle interne alla piazza sono erodibili, mentre quelle corrispondenti al muro che confina la piazza non sono erodibili.

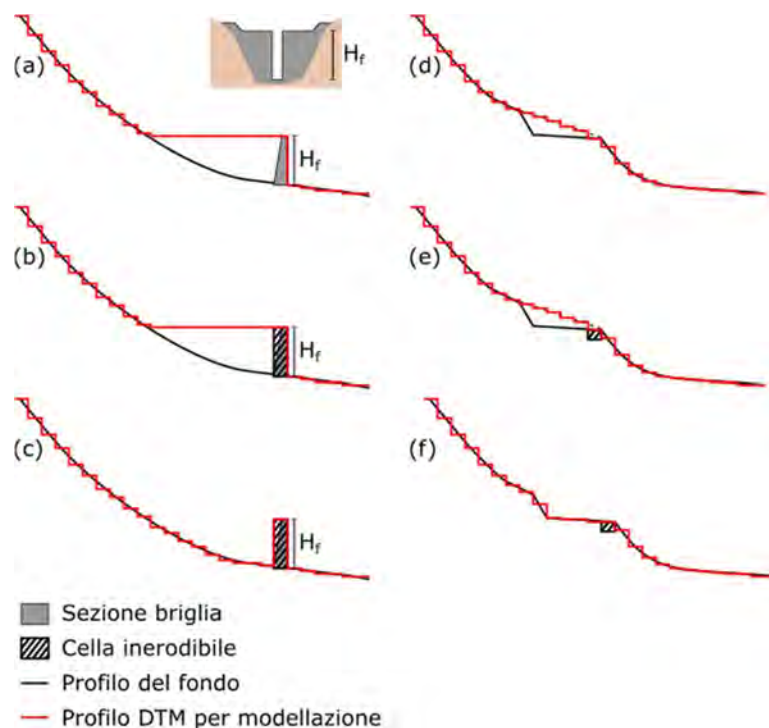


Figura 13: Scenari di modellazione delle strutture di intercettazione a seconda che siano presidiate (a-c) o non presidiate (d-f) da strutture verticali ed in funzione della loro funzionalità: assente (a, d), scarsa (b, e) e buona (c, f).

Definizione dei parametri di calcolo

La durata ottimale della simulazione dell'evento di colata con modello numerico è stata stimata a partire dalla lunghezza massima del percorso della colata ipotizzando una velocità tipica di propagazione di 3 m/s. Il percorso è stato identificato sulla base della posizione del canale, se presente, oppure secondo la direzione di massima pendenza sulla conoide. Per assicurare che il modello numerico rappresenti correttamente l'intero processo di formazione, scorrimento e deposito della colata si è verificato il completo passaggio dell'idrogramma solido-liquido attraverso la sezione di uscita del modello.

I valori di default dei parametri concentrati di input per il modello DFRM sono:

- Coefficienti della formula di Egashira K_E , K_D : 0.5 e 1;
- Profondità minima necessaria alla propagazione: 0.03 m;
- Profondità minima per erosione/deposito: 0.1 m;

Per quanto riguarda invece la concentrazione di riposo del materiale nelle celle del dominio sono stati utilizzati i seguenti valori di default:

- 0.7-0.75 per le aree di innesco dove il materiale deriva principalmente da crolli e cedimenti spondali e in generale per le aree con pendenza locale superiore a 16°; il valore assegnato alle celle della zona di innesco sarà lo stesso utilizzato nel calcolo del corrispondente idrogramma solido-liquido (vedi paragrafo 3.2.1);
- 0.62 per le altre aree.

Si rimanda al manuale utente del modello DFRM per la definizione degli altri parametri.

Simulazione preliminare

Per ciascuno degli idrogrammi di progetto si è effettuata una simulazione preliminare (SIM_0) per individuare le sezioni critiche del dominio di calcolo e definire gli scenari relativi ad attraversamenti e divagazioni. Poiché per ogni superficie oggetto di classificazione si considerano tre tempi di ritorno associati agli scenari di probabilità indicati dalla Dir. 2007/60/CE e si generano due idrogrammi (paragrafo 3.2.1), si sono effettuate sei SIM_0 per ogni superficie oggetto di classificazione.

Nelle SIM_0 si è assunto che tutti gli attraversamenti siano completamente liberi indipendentemente dalle dimensioni della luce. Per quanto riguarda le scelte modellistiche legate alla rappresentazione di queste strutture nel modello si rimanda al paragrafo relativo agli scenari di ostruzione.

Calibrazione del modello

Le condizioni di riferimento per la calibrazione del modello sono rappresentate dalla simulazione preliminare effettuata con l'idrogramma I1 per il tempo di ritorno pari a 100 anni. La calibrazione è stata effettuata confrontando il volume solido che transita attraverso una sezione di controllo posta all'apice della conoide per questa simulazione ($V_{SED,100}$) con i volumi ottenuti con la (17) e applicando ad essi una tolleranza del 10%. I parametri di calibrazione del modello sono i seguenti:

- concentrazione della colata C e del flusso in ingresso da eventuali sottobacini con solo contributo liquido (vedi paragrafo 3.2.1);
- parametri distribuiti rappresentativi delle caratteristiche dei suoli, quali resistenza al moto ed erosività;
- durata di pioggia: la durata di pioggia di primo tentativo è la durata di pioggia critica individuata come indicato al paragrafo 3.2.1. Tuttavia, in alcuni casi sono stati utilizzati idrogrammi con durate di pioggia superiori, se la portata massima di questi ultimi è pari almeno al 95% della portata massima dell'idrogramma generato dalla pioggia critica.

I valori di riferimento per la concentrazione della colata sono i seguenti:

- i valori C_{max} e C_{min} di primo tentativo sono stati stimati in base alla disponibilità di sedimento, valutata con sopralluoghi ed analisi cartografica;
- nei casi in cui si è assunto un andamento di C variabile nel tempo (vedi Figura 12), C_{max} rappresenta la concentrazione del fronte della colata, che può essere stimata con formule di letteratura come quella proposta da Takahashi (1978):

$$C_{max} = \frac{\tan\beta}{s(\tan\phi - \tan\beta)} \quad (24)$$

dove s è il rapporto tra la densità dei sedimenti ρ_s [kg/m³] e quella dell'acqua ρ [kg/m³] (assunta pari a 1000 kg/m³), ϕ è l'angolo di attrito statico e β è l'angolo di inclinazione della zona di innesco;

- in ogni caso, la concentrazione massima C_{max} non può superare il 90% della concentrazione di riposo del materiale c^* (Takahashi, 1978), mentre per la concentrazione minima C_{min} è tipicamente compresa tra 0.1 e 0.3;
- se la sezione di innesco è collocata poco a valle di una parete rocciosa la disponibilità di materiale è limitata e si assume quindi una concentrazione costante nel tempo e tipicamente pari a 0.1-0.2. Se l'innesco è alla base della parete si assume $C = 0$;
- per i sottobacini con solo contributo liquido si assume una concentrazione costante nel tempo con valori tipicamente compresi fra 0.05 e 0.1;

I valori dei parametri ottenuti tramite calibrazione sono stati utilizzati per il calcolo dei *debrisgrammi* per le simulazioni degli eventi con tempo di ritorno pari a 30 e 300 anni e idrogramma I1.

Per tutte le simulazioni con gli idrogrammi di tipo I2 si sono utilizzati i valori ottenuti tramite calibrazione dei parametri distribuiti rappresentativi delle caratteristiche dei suoli. La durata di pioggia è quella critica per l'idrogramma I2, individuata secondo i criteri indicati al paragrafo 3.2.1, mentre la concentrazione della colata C è stata assegnata secondo i seguenti criteri:

- per bacini con sezione di innesco collocata poco a valle di una parete rocciosa C è pari alla metà del valore utilizzato per le simulazioni con idrogramma I1;
- per i sottobacini con solo contributo liquido C mantiene il valore utilizzato per le simulazioni con idrogramma I1;
- per tutti gli altri bacini C è pari a 0.3.

Definizione e simulazione degli scenari

Le SIM_0 forniscono i risultati necessari a definire gli scenari relativi alle ostruzioni degli attraversamenti (caso A) e alle divagazioni d'alveo (caso B).

La simulazione del flusso di una colata attraverso una sezione limitata in altezza (ponte o tombino, caso A) è stata effettuata tramite la definizione di scenari di ostruzione della stessa. Ogni attraversamento composto da una singola apertura e ciascuna delle aperture di un attraversamento complesso (ponte con pile in alveo) può essere considerato come (i) completamente libero o (ii) completamente ostruito. Nel primo caso la quota da assegnare alle celle corrispondenti all'attraversamento è quella del fondo dell'alveo, nel secondo caso quella dell'estradosso della struttura. Queste quote sono state interpolate sulla base dei valori delle celle vicine e verificate grazie ai rilievi delle sezioni.

In tutti gli scenari, le celle corrispondenti alle spalle del ponte e ad eventuali pile sono state considerate inderodibili e di altezza pari all'estradosso della struttura in quel punto. La rappresentazione schematica del ponte e dei parametri per la valutazione dell'ostruzione è riportata in Figura 14. Gli scenari di ostruzione sono stati valutati come segue:

1. altezza minima dell'attraversamento: si fa riferimento al criterio indicato nella Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., che stabilisce che *"il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m"*. Di conseguenza, tutti gli attraversamenti di altezza inferiore a 1.5 m sono considerati sempre interamente ostruiti;
2. caratterizzazione di aperture di grandi dimensioni: rientra in questa categoria ogni luce di ponte che abbia altezza superiore a 1.5 m. La possibilità di ostruzione di ciascuna apertura è valutata calcolando il tasso di ostruzione della luce R_O come rapporto fra l'area della sezione della luce A_L derivata dal rilievo della struttura e l'area di ostruzione A_O :

$$R_O = \frac{A_O}{A_L} \quad (25)$$

- L'area di ostruzione è calcolata come integrale sulla larghezza L dell'apertura dell'altezza massima della superficie libera che si realizza nella simulazione SIM_0 nelle celle immediatamente a monte dell'apertura stessa. Per l'estrazione di questo dato dal modello sono state definite delle sezioni di controllo interne in corrispondenza di ciascun ponte o apertura di ponte. L'apertura si considera completamente ostruita se il tasso di ostruzione R_O è maggiore di un valore soglia $R_{O,MAX}$ pari a 0.6;
3. materiale vegetale disponibile per la fluitazione: se la disponibilità di materiale vegetale caratterizzato da fusto legnoso sulla conoide è *media* o *bassa* si applica il criterio di ostruzione definito al punto precedente, mentre se la disponibilità è *alta* il valore soglia $R_{O,MAX}$ è ridotto a 0.4;
 4. presenza di più attraversamenti: se sono presenti più attraversamenti sul canale, si esegue una simulazione per ciascun attraversamento che ha almeno un'apertura potenzialmente ostruita. Per simulazione dell'ostruzione dell'attraversamento i -esimo (SIM_OST_i) si utilizza quindi la topografia della simulazione SIM_0 con il solo ponte i ostruito.

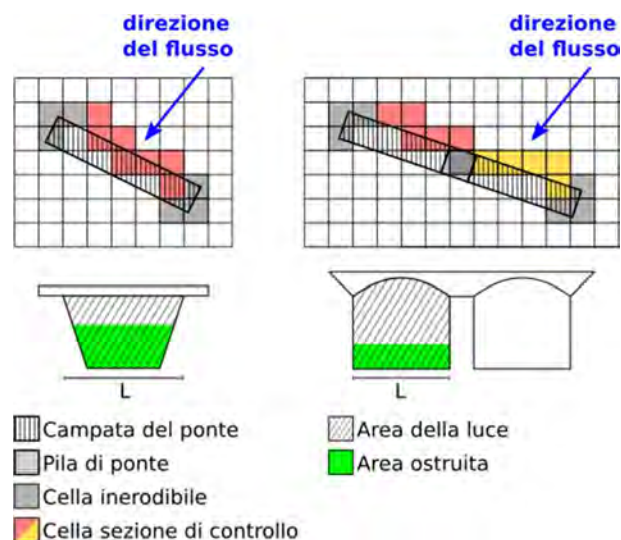


Figura 14: Schema per la rappresentazione dei ponti e il calcolo del rapporto di ostruzione.

La simulazione degli scenari di divagazione d'alveo (caso B) è stata effettuata tramite la modifica locale del DTM. I punti di inizio delle possibili divagazioni sono stati identificati con particolare attenzione a:

- apice della conoide;
- divagazioni e canali secondari esistenti identificati con fotointerpretazione e rilievi in campo;
- sezioni critiche all'estradosso di curve di canali esistenti;
- punti di particolare fragilità di opere di difesa quali cunettoni, protezioni spondali o valli deviatori;
- punti del canale principale dove i risultati della simulazione SIM_0 indicano valori massimi della velocità del flusso superiori a 5 m/s.

La modifica locale del DTM ha lo scopo di riprodurre le forzanti che danno origine alla divagazione, ovvero:

- cedimento di opere di difesa o arginelli naturali: la quota delle celle corrispondenti viene modificata in modo da ricondurla a quella del piano campagna a tergo per una lunghezza pari a circa due volte la larghezza del canale oppure all'estensione di eventuali opere di difesa fragili o danneggiate;
- innalzamento della quota del fondo del canale in conseguenza del progressivo accumulo di materiale: la quota del fondo del canale viene raggugliata a quella delle sponde per una lunghezza pari a circa due volte la larghezza del canale, con adeguato profilo di raccordo a monte e a valle.

Verifica dell'estensione dell'area interessata dal fenomeno

È stata verificata la coerenza fra i risultati della modellazione e la morfologia del terreno con particolare attenzione a forme naturali o strutture artificiali di piccole dimensioni che non sono correttamente rappresentate nel DTM. La presenza di questi oggetti e la loro possibile influenza sulla propagazione del flusso sulla conoide è stata analizzata con rilievi in campo e fotointerpretazione.

Inviluppo degli scenari

Per ogni tempo di ritorno e per ogni idrogramma liquido generato, l'area massima interessata dal fenomeno è definita come l'inviluppo delle aree ottenute con la simulazione SIM_0, con le simulazioni relative alle ostruzioni di attraversamenti (SIM_OST_i) e con le simulazioni relative alle divagazioni d'alveo (SIM_DIV_i) secondo lo schema di Figura 15. La mappa relativa al singolo tempo di ritorno (*Inviluppo TR*) è stata ottenuta quindi come inviluppo delle mappe relative ai due idrogrammi liquidi.

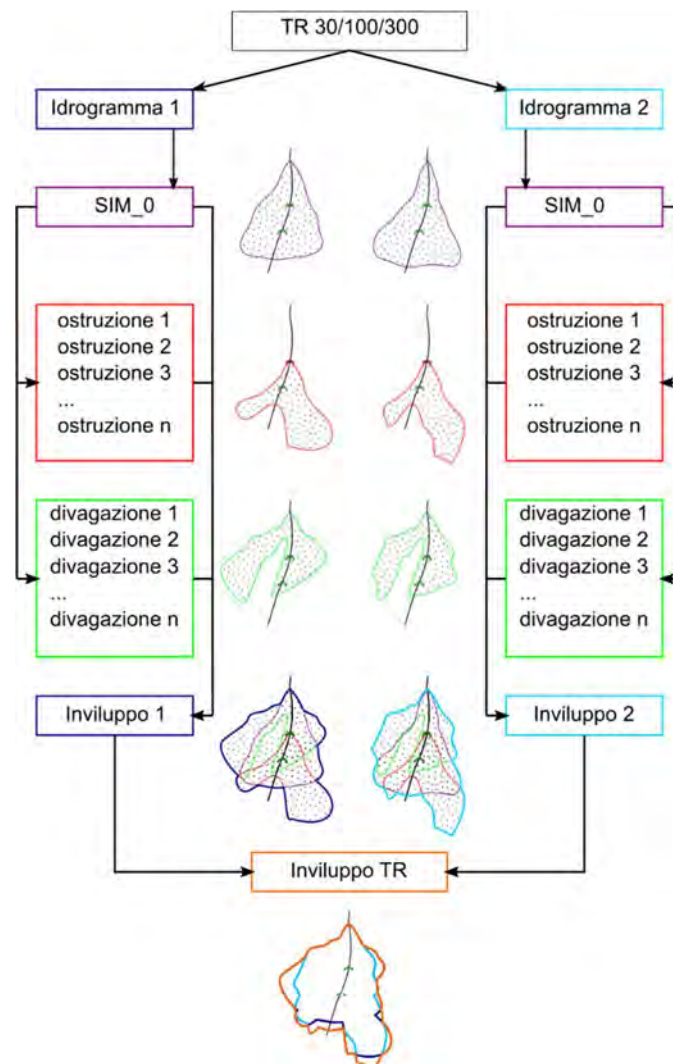


Figura 15: Procedura di Inviluppo degli scenari per un singolo tempo di ritorno: simulazione 0, scenari di ostruzione dell'attraversamento, scenari di divagazione.

3.2.3 Mappatura del Pericolo

La metodologia precedentemente descritta fornisce una rappresentazione della variabilità spaziale di velocità e spessore del deposito della colata per ciascuno dei tre scenari di pericolosità.

La classificazione della pericolosità idraulica nei territori potenzialmente affetti da colate detritiche viene relazionata alla probabilità di accadimento di un evento alluvionale e alla sua intensità attraverso la matrice di BUWAL (Heinimann, 1998).

Vengono di seguito descritti i criteri operativi per definire la probabilità di accadimento, l'intensità dei fenomeni e la matrice di BUWAL per i fenomeni di colata detritica nel Distretto delle Alpi Orientali.

I tre intervalli di tempo di riferimento, per la valutazione della probabilità di accadimento dei fenomeni alluvionali, sono gli stessi già definiti durante il I Ciclo di Gestione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA):

- probabilità di accadimento elevata: $Tr \leq 30$ anni;
- probabilità di accadimento media: $30 < Tr \leq 100$ anni;
- probabilità di accadimento bassa: $100 < Tr \leq 300$ anni.

Le grandezze di riferimento per l'assegnazione dell'intensità sono lo spessore del deposito (M , in m) e la velocità (v in m/s). Sono previste tre classi di intensità, definite secondo i seguenti criteri, espressi tramite gli operatori logici AND e OR:

- intensità elevata: $M > 1$ AND $v > 1$;
- intensità media: $M \leq 1$ OR $v \leq 1$;
- intensità bassa: fenomeni mitigati.

La classe di intensità bassa si utilizza per rappresentare aree in cui in passato si sono manifestati fenomeni di colata e che, allo stato attuale, non evidenziano condizioni di criticità a seguito della realizzazione di idonee opere di mitigazione (pericolosità residua) oppure in seguito a variazioni morfologiche.

Sono individuate tre classi di pericolosità, moderata (P1), media (P2) ed elevata (P3) tramite la matrice BUWAL riportata in Figura 16. È prevista inoltre una campitura specifica per indicare le aree con pericolosità elevata che derivano da zone originariamente classificate come P4 nei PAI e PAIR. In particolare, la classe P3 è ulteriormente suddivisa in due sotto-classi identificate come P3a e P3b che sono utilizzate per rappresentare, rispettivamente, le aree precedentemente classificate come P3 e P4.

Per quanto riguarda le aree già classificate negli strumenti di pianificazione adottati, esse sono riportate nel PGRA sulla base del livello di pericolo definito negli strumenti vigenti secondo le equivalenze riassunte in Tabella 3.

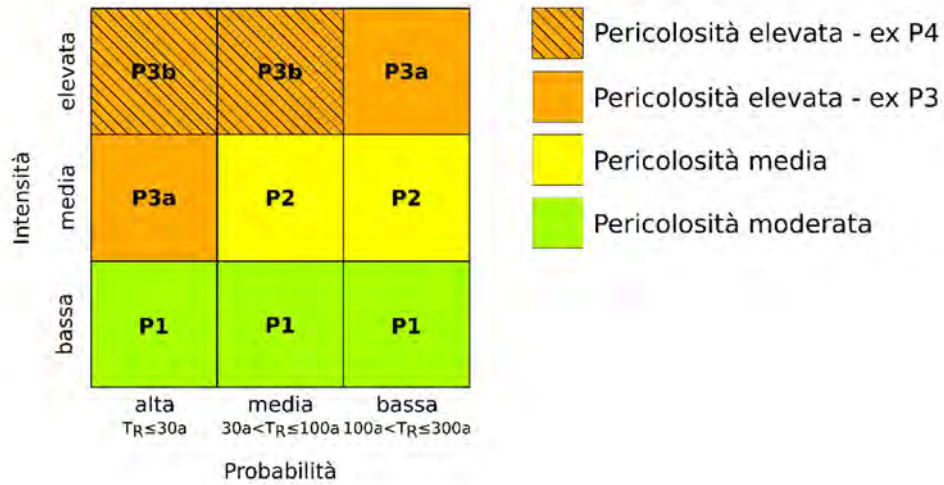


Figura 16: Matrice di interazione per fenomeni di colata detritica.

Tabella 3: Criteri per l'introduzione nel PGRA delle aree già classificate negli strumenti vigenti.

LIVELLI DI PERICOLO ADOTTATI			LIVELLI DI PERICOLO PGRA
PGUAP Bolzano	PGUAP Trento	PAI e PAI-RFVG	
		P4	Pericolosità elevata - ex P4
H4	H4	P3	Pericolosità elevata - ex P3
H3	H3	P2	Pericolosità media
H2	H2	P1	Pericolosità moderata

4 Alluvioni torrentizie

Viene di seguito descritta la metodologia adottata per la classificazione e perimetrazione della pericolosità legata ad alluvioni torrentizie. Nel caso di fenomeni che insistono su conoide, la tipologia di fenomeno è stata individuata applicando l'analisi preliminare descritta nel paragrafo 3 e in particolare utilizzando per la raccolta dati la scheda di rilievo del sistema bacino-conoide (Allegato IA).

4.1 Metodologia di analisi dettagliata per alluvione torrentizia

Per la simulazione delle alluvioni torrentizie è stato utilizzato un modello bidimensionale a fondo mobile. La topografia di riferimento è il Modello Digitale del Terreno (DTM) ricavato da rilievo topografico, laser terrestre, LiDAR o fotogrammetria digitale ad alta risoluzione. Dove si sono verificati fenomeni di elevata intensità nel periodo intercorso tra l'acquisizione del dato e la modellazione, si è verificato che il DTM fosse ancora rappresentativo della topografia locale.

4.1.1 Procedura di modellazione

La modellazione segue un modello concettuale analogo a quello utilizzato per le colate detritiche, che si può sintetizzare come segue:

1. analisi idrologica per la generazione degli idrogrammi;
2. definizione del sedimentogramma associato a ciascun idrogramma;
3. definizione e verifica del dominio di calcolo e individuazione delle sezioni di uscita e di controllo del modello;
4. inserimento e modellazione delle opere idrauliche;
5. simulazione preliminare per l'individuazione di eventuali sezioni critiche del dominio di calcolo, ovvero attraversamenti a rischio di ostruzione e punti di possibile cedimento delle opere;
6. definizione e simulazione degli scenari di ostruzione e cedimento delle opere;
7. verifica dei risultati delle simulazioni per garantirne la coerenza con la morfologia del territorio;
8. inviluppo degli scenari.

4.1.2 Scelta dell'idrogramma di progetto e calcolo del sedimentogramma associato

Gli idrogrammi di progetto sono stati generati, per ogni sezione di ingresso, secondo le procedure previste per i fenomeni di pianura (vedi paragrafo 1.1). Per ogni tempo di ritorno è disponibile quindi un fascio di onde di piena generato da idrogrammi con diversa forma e durata di pioggia. All'interno di questo fascio, sono stati individuati, per ogni tempo di ritorno ed ogni sezione di ingresso, i due idrogrammi associati alle condizioni più gravose, così definite:

- idrogramma che massimizza il picco della portata liquida (idrogramma p_{max});
- idrogramma che massimizza il volume del sedimentogramma associato (idrogramma v_{max}). Il sedimentogramma è calcolato con la formula di trasporto scelta, assumendo come larghezza del canale quella della sezione di ingresso del modello ed applicando l'ipotesi semplificativa di moto uniforme stazionario per ogni valore di portata dell'idrogramma.

Nel caso di fenomeni di alluvione torrentizia che insistono su conoide, la sezione di chiusura del bacino è stata collocata immediatamente a monte dell'apice della conoide.

4.1.3 Modellazione idraulica

Definizione e verifica del dominio di calcolo

L'area del dominio di calcolo è stata individuata secondo i seguenti criteri:

- nella direzione del moto, il dominio si estende a monte ed a valle delle sezioni di ingresso (compresi gli affluenti) ed uscita del modello per una lunghezza pari ad almeno cinque volte la larghezza delle sezioni stesse;
- in direzione trasversale rispetto al moto il dominio si estende a sinistra e destra del canale fino a comprendere tutte le aree che possono essere interessate da alluvione. Questa condizione è verificata se si hanno tiranti nulli lungo i confini del dominio;
- il dominio comprende interamente la zona di attenzione, se presente, con l'esclusione di eventuali zone che non possono essere interessate dal fenomeno in ragione della morfologia del terreno.

La sezione di chiusura del modello idraulico è stata collocata in modo da intercettare completamente il flusso che esce dal dominio e al di fuori dell'area di attenzione, qualora presente, in modo da rappresentare completamente il fenomeno di interesse. Le sezioni di controllo sono state collocate dove il dominio presenta delle criticità (ad esempio: restringimenti di sezione, attraversamenti e possibili zone di divagazione) o dove è necessario ottenere l'andamento temporale delle variabili di interesse (ad esempio in corrispondenza delle opere).

La superficie su cui sono stati valutati il grado di pericolo e di rischio è costituita da tutte le porzioni di territorio esterne all'area fluviale che possono essere interessate dall'occupazione delle acque in seguito al sormonto spondale e/o al cedimento delle arginature durante gli eventi di piena di progetto. Per l'identificazione dell'area fluviale e la relativa disciplina di comportamento si rimanda all'Allegato V del Piano.

Inserimento e modellazione delle opere

Il Modello Digitale del Terreno è stato integrato con il rilievo topografico di dettaglio delle opere idrauliche, degli attraversamenti e di tutte le strutture che possono interagire con il deflusso, per la corretta simulazione delle stesse nel modello numerico.

Inoltre, a ciascuna delle opere idrauliche presenti nel dominio è stato assegnato (anche per tratti, nel caso delle opere di difesa longitudinali, quali ad esempio argini e muri di sponda) un livello di funzionalità *buona*, *scarsa* o *assente* secondo i criteri definiti al paragrafo 3.

Definizione e simulazione degli scenari

Per ciascuno degli idrogrammi di progetto è stata effettuata una simulazione preliminare (SIM_0) per individuare le sezioni critiche del dominio e definire gli scenari relativi al cedimento delle opere e all'ostruzione degli attraversamenti. Poiché per ogni superficie oggetto di classificazione si considerano tre tempi di ritorno associati agli scenari di probabilità indicati dalla Dir. 2007/60/CE e si generano due idrogrammi (vedi paragrafo 4.1.2), sono state effettuate sei SIM_0 per ogni superficie oggetto di classificazione.

Nella simulazione preliminare tutti gli attraversamenti si considerano completamente liberi da ostruzioni, le opere con funzionalità *assente* o *scarsa* sono rappresentate come elementi erodibili, mentre le opere con funzionalità *buona* sono considerate come elementi inerodibili.

Sulla base dei risultati delle SIM_0 si definiscono i seguenti tipi di scenari di modellazione:

- A. cedimento di opere diverse dagli argini (muri di sponda, opere trasversali...);
- B. rotta arginale;
- C. punti storicamente fragili;
- D. ostruzione degli attraversamenti.

Scenari di cedimento delle opere

Gli scenari di cedimento delle opere longitudinali e trasversali diverse da arginature (tipo A) hanno l'obiettivo di valutare eventuali criticità associate al crollo delle strutture in conseguenza delle condizioni idrauliche che si verificano durante gli eventi di piena. Questi scenari sono stati definiti solo per le sole opere con funzionalità *buona*, in quanto le altre sono già rappresentate come elementi erodibili nella SIM_0. Per l'identificazione di opere o tratti di opere potenzialmente soggette a cedimento si sono applicati i seguenti criteri:

- scavo massimo al piede dell'opera superiore all'altezza delle fondazioni;
- per opere realizzate in massi sciolti (quali ad esempio scogliere o rampe): sforzo tangenziale superiore al valore limite per la mobilitazione dei massi.

Lo scenario di cedimento delle opere è stato definito rappresentando tutte le opere e/o tratti di opere soggette a cedimento come elementi erodibili; queste condizioni si attivano contemporaneamente (una sola simulazione). In questi scenari tutti gli attraversamenti sono stati rappresentati come completamente liberi per l'intera durata della simulazione.

Scenari di rotta arginale

Per la definizione degli scenari di rotta arginale (tipo B) si rimanda alla metodologia per le alluvioni di pianura (paragrafo 1.2). Ogni rotta arginale è stata attivata separatamente (una simulazione per rotta). In questi scenari tutti gli attraversamenti sono stati considerati liberi da ostruzioni, mentre le opere diverse da arginature sono state assunte come erodibili se la loro funzionalità è *assente* o *scarsa* (come nella Sim_0) oppure se si sono identificate condizioni di potenziale instabilità (vedi scenari di tipo A).

Punti storicamente fragili

In presenza di informazioni o testimonianze relative a punti storicamente fragili (tipo C) sono stati definiti ulteriori scenari di cedimento delle opere corrispondenti secondo le metodologie sopra illustrate.

Scenari di ostruzione degli attraversamenti

Gli scenari di ostruzione degli attraversamenti (tipo D) hanno l'obiettivo di valutare eventuali criticità associate alla riduzione della luce dovuta all'accumulo di materiale flottante durante la piena. Per ogni attraversamento si definisce un fattore di riduzione della luce disponibile F_R come

$$A_R = A_L F_R \quad (26)$$

dove A_L è l'area della sezione della luce e A_R è l'area totale della luce effettivamente disponibile per il transito della portata liquida in presenza di materiale vegetale. Il calcolo del fattore di riduzione è stato effettuato con secondo la metodologia riportata di seguito.

L'attraversamento è stato simulato come completamente libero dall'inizio della simulazione fino al primo istante temporale in cui l'area occupata dal flusso raggiunge il valore limite A_R e completamente ostruito da questo istante alla fine della simulazione. Ogni scenario di ostruzione è stato attivato separatamente, ovvero considerando come sempre liberi tutti gli altri attraversamenti (una simulazione per ostruzione).

Inviluppo degli scenari

Per ogni tempo di ritorno si è realizzato l'inviluppo degli scenari secondo la procedura illustrata per i fenomeni di colata detritica (vedi paragrafo 3.2.2).

Metodologia per la valutazione della probabilità di ostruzione degli attraversamenti

Sono stati sviluppati due approcci per il calcolo del fattore di riduzione della luce disponibile F_R . La procedura speditiva si basa esclusivamente sulla valutazione della disponibilità di materiale vegetale a monte dell'attraversamento. Per i fenomeni che insistono su conoide si fa riferimento al parametro *Materiale vegetale disponibile per la fluitazione – canale* definito nella scheda di rilievo del sistema bacino-conoide (Allegato IA). Con la procedura speditiva, F_R è definito come segue:

- materiale disponibile *scarso* in alveo e sulle sponde: $F_R = 1$ (nessuna riduzione);
- materiale disponibile almeno *medio* in alveo o sulle sponde: $F_R = 0.6$;
- materiale disponibile *abbondante* in alveo o sulle sponde: $F_R = 0.4$.

La procedura dettagliata, condotta in ambiente GIS, è strutturata nelle seguenti fasi:

1. definizione dell'area di indagine;
2. stima della disponibilità di vegetazione;
3. stima della probabilità che la vegetazione raggiunga l'attraversamento;
4. valutazione della tipologia di attraversamento;
5. stima della probabilità di ostruzione dell'attraversamento e calcolo del fattore di riduzione della luce disponibile.

Per l'applicazione della procedura dettagliata sono stati utilizzati i seguenti dati e informazioni:

- immagini aeree aggiornate e dettagliate dell'alveo e delle aree immediatamente circostanti;
- stima della lunghezza rappresentativa del materiale vegetale presente in alveo o sulle sponde e reclutabile durante gli eventi di piena (D_R), valutata in fase di sopralluogo;
- caratteristiche delle aperture dell'attraversamento: numero (N_L), ampiezza (B_L) e forma delle aperture, derivati dai rilievi topografici di dettaglio.

Per la valutazione probabilità di ostruzione sono state definite innanzitutto le scale spaziali longitudinale e trasversale di analisi della disponibilità di vegetazione. Per l'estensione longitudinale dell'area di indagine si è fatto riferimento alla procedura di individuazione dei tratti omogenei di corso d'acqua utilizzata nell'ambito della metodologia IDRAIM. In prima istanza, si sono considerati per ciascun attraversamento tutti i tratti a monte dello stesso la cui sezione di valle dista meno di 1 km dall'attraversamento (vedi Figura 17). Si sono applicati inoltre i seguenti criteri:

- se la lunghezza totale dei suddetti tratti supera i 2 km, il limite di monte dell'area di indagine è posto a 2 km dall'attraversamento;
- se nel tratto considerato sono presenti elementi di discontinuità in grado di trattenere completamente il materiale vegetale flottante (quali dighe o briglie a pettine), il limite di monte dell'area di indagine si pone immediatamente a valle dell'opera;
- se nell'area di indagine identificata secondo i precedenti criteri sono presenti confluenze con contributo di portata significativo, la procedura si applica anche lungo l'affluente. In questo caso, si considerano i tratti omogenei dell'affluente la cui sezione di valle dista meno di 1 km dall'attraversamento, fino ad un massimo di 2 km dallo stesso;

- nel caso degli affluenti di cui al punto precedente, è possibile limitare l'estensione longitudinale dell'area di indagine ai soli tratti per cui sono disponibili informazioni dettagliate e aggiornate riguardo alla copertura vegetale sulle sponde o in alveo (rilievi fotografici aerei).

Per l'individuazione della scala trasversale di indagine si è fatto riferimento ai criteri di delimitazione dell'alveo secondo definiti nell'ambito della metodologia IDRAIM). In questo contesto l'alveo è definito come la porzione di letto fluviale soggetta a modificazioni morfologiche determinate dalla mobilitazione e dal trasporto al fondo di sedimenti. La superficie d'alveo comprende quindi il canale o i canali attivi e le barre di sedimento ed è delimitata lateralmente dalle linee di sponda. Si è assunto che la disponibilità di materiale flottante sia funzione della presenza di vegetazione all'interno dell'alveo e lungo le sponde, secondo i seguenti criteri:

- alveo: la disponibilità di materiale flottante è legata alla percentuale di area con copertura vegetale;
- sponde: il reclutamento della vegetazione è legato ai processi di erosione spondale localizzata e migrazione laterale dell'alveo, la cui estensione trasversale a scala di evento è di difficile quantificazione. Di conseguenza, la disponibilità di materiale flottante è espressa in funzione dell'estensione lineare delle sponde vegetate.

Sulla base delle precedenti considerazioni, il dominio di indagine per le successive valutazioni è definito tramite i seguenti parametri:

- $L_{a,tot}$: estensione longitudinale totale del dominio di indagine, definita come somma delle lunghezze dei tratti, misurata lungo la linea mediana dell'alveo;
- $L_{s,tot}$: lunghezza totale delle sponde dei suddetti tratti;
- A_{tot} : superficie totale dell'alveo compreso fra le linee di sponda.

Un esempio di suddivisione in tratti e identificazione del dominio di indagine è rappresentato in Figura 17.

La disponibilità di vegetazione potenzialmente reclutabile in alveo e lungo le sponde è definita, rispettivamente, come frazione di superficie d'alveo o di lunghezza delle sponde su cui è presente copertura arbustiva o arborea (vedi Figura 18). Nel caso della superficie d'alveo, si sono considerate come appartenenti all'area vegetata anche le aree occupate da accumuli di materiale legnoso. La disponibilità di vegetazione è espressa attraverso il parametro S_{veg} calcolato come segue:

- alveo: calcolo del rapporto fra superficie coperta da vegetazione A_{veg} e superficie totale dell'alveo:

$$R_A = \frac{A_{veg}}{A_{tot}} ; \quad (27)$$

- sponda: calcolo del rapporto fra lunghezza delle sponde vegetate L_{veg} e lunghezza totale delle sponde:

$$R_S = \frac{L_{veg}}{L_{s,tot}} ; \quad (28)$$

- media pesata dei valori R_A e R_S :

$$S_{veg} = \frac{2}{3}R_A + \frac{1}{3}R_S . \quad (29)$$

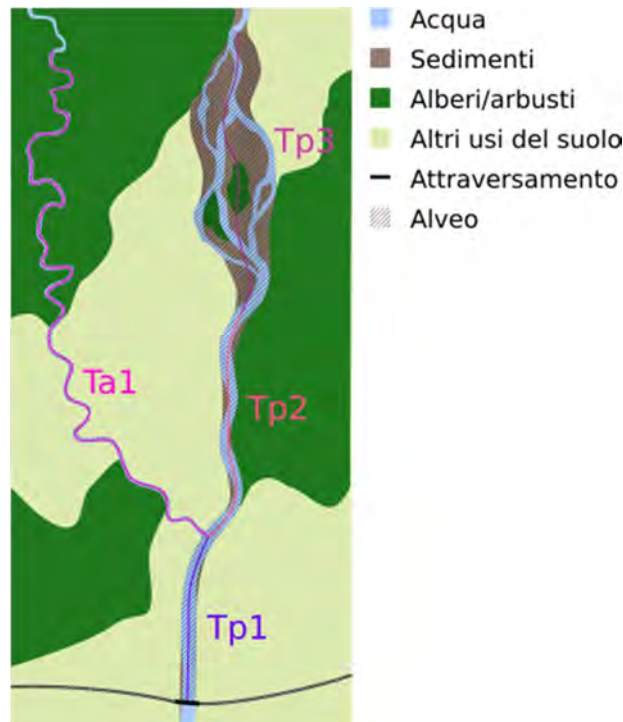


Figura 17: Esempio di suddivisione in tratti. A monte dell'attraversamento si identificano tre tratti del corso d'acqua principale (Tp1, Tp2, Tp3) e un tratto dell'affluente (Ta1).

La probabilità che il materiale vegetale reclutato durante un evento di piena raggiunga l'attraversamento dipende dalle dimensioni degli elementi e dalle condizioni morfologiche ed idrauliche che il flottante incontra lungo il percorso dal punto di reclutamento all'attraversamento stesso. Il trattenimento degli elementi flottanti è dovuto soprattutto all'interazione con le sponde, con elementi di scabrezza presenti in alveo oppure con il fondo, soprattutto in alvei con geometrie complesse e profondità variabile lungo la sezione trasversale. Per quanto riguarda la dimensione degli elementi, il parametro più significativo è il rapporto fra l'altezza delle piante (o lunghezza dei frammenti) e la larghezza tipica della sezione d'alveo.

Si distinguono quindi due macro-categorie di alvei in base alla propensione al trasporto del materiale verso valle:

- tratti a prevalente deposito: comprendono i tratti in cui la larghezza media a piene rive è inferiore alla lunghezza rappresentativa del materiale vegetale trasportabile (D_R); i tratti in cui sono presenti macroscabrezze (come massi ciclopici e vegetazione arborea); i tratti con geometrie d'alveo complesse (morfologia transizionale o *wandering* e intrecciata o *braiding*);
- tratti a prevalente trasporto: comprendono i tratti monocursali, rettificati o con geometria della sezione semplice e larghezza a piene rive superiore alla lunghezza rappresentativa del materiale vegetale trasportabile.

Il grafo che corrisponde all'estensione longitudinale del dominio di indagine $L_{a,tot}$ è quindi diviso in segmenti che sono assegnati ad una delle due categorie così individuate. Le informazioni necessarie per l'analisi sono state ricavate da analisi di foto aeree e rilievi topografici di dettaglio. La probabilità di raggiungimento dell'attraversamento P_T è espressa come rapporto tra la lunghezza dei tratti a prevalente trasporto L_T e la lunghezza totale del grafo $L_{a,tot}$:

$$P_T = \frac{L_T}{L_{a,tot}}. \quad (30)$$

Un esempio di individuazione dei tratti a prevalente trasporto è rappresentato in Figura 18.

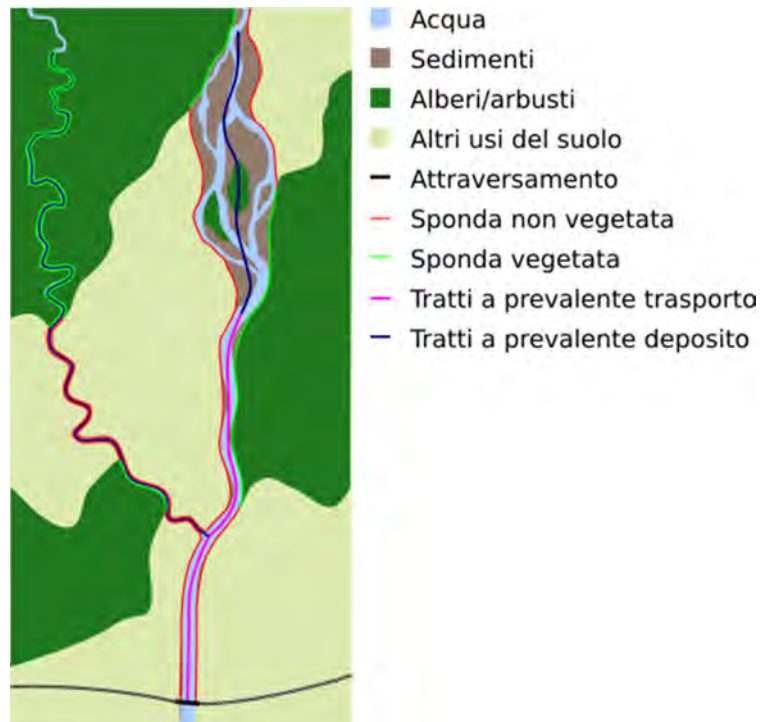


Figura 18: Esempio di individuazione delle sponde vegetate e dei tratti a prevalente trasporto.

La probabilità di accumulo di materiale vegetale a ridosso dei manufatti degli attraversamenti dipende dalla dimensione e dalla geometria delle aperture. In particolare, si sono presi in considerazione i seguenti aspetti:

- ampiezza della luce: l'accumulo di materiale è favorito quando la lunghezza tipica degli elementi D_R è superiore all'ampiezza delle luci B_L ($D_R/B_L > 1$). Per la definizione dell'ampiezza della luce si veda la Figura 19;
- forma dell'apertura: la presenza di sporgenze o irregolarità del perimetro della luce favorisce il trattenimento del materiale presso l'attraversamento (vedi Figura 19e); lo stesso accade per le luci ad arco (vedi Figura 19c-d), dove la larghezza dell'apertura diminuisce all'aumentare del tirante;
- numero di luci (N_L): a parità di ampiezza della singola luce, la probabilità di ostruzione della stessa diminuisce all'aumentare del numero di aperture, poiché il materiale flottante può distribuirsi su di esse (vedi Figura 19f-g).

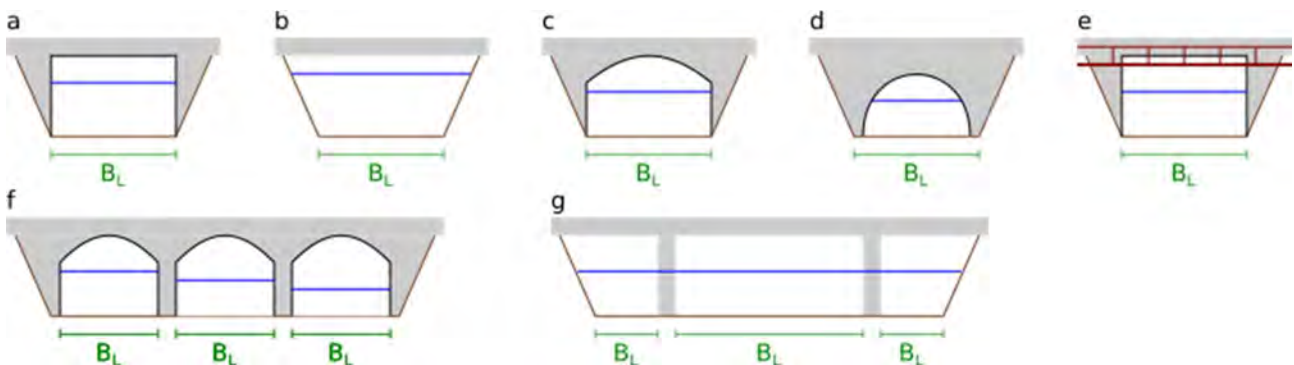


Figura 19: Esempi di tipologie di ponti: con sezione regolare (a,b); con sezione ad arco (c,d); con ostacoli (e); con luci multiple (f,g)

La probabilità di occlusione dell'attraversamento P_O è espressa come prodotto di tre parametri adimensionali che rappresentano rispettivamente l'effetto della disponibilità di vegetazione (K), della probabilità di raggiungimento dell'attraversamento (T) e della tipologia di attraversamento (C):

$$P_O = K T C . \quad (31)$$

I valori dei tre parametri sono definiti come segue:

$$\begin{aligned} S_{veg} = 0 & \rightarrow K = 0 \\ 0 < S_{veg} \leq 0.25 & \rightarrow K = 0.25 \\ 0.25 < S_{veg} \leq 0.5 & \rightarrow K = 0.5 \\ S_{veg} > 0.5 & \rightarrow K = 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_T < 0.33 & \rightarrow T = 1 \\ 0.33 < P_T \leq 0.66 & \rightarrow T = 0.75 \\ P_T > 0.66 & \rightarrow T = 0.5 \end{aligned}$$

<i>tipologia di luce</i>		$D_R / B_L < 1 = 0$	$D_R / B_L > 1 = 0$
luce singola, sezione regolare	→	$C = 0$	$C = 1$
luce singola, sezione ad arco/con ostacoli	→	$C = 0.25$	$C = 1$
luci multiple	→	$C = 0$	$C = 1 / (N_L - 1)$

Sulla base della probabilità di occlusione dell'attraversamento P_O si definisce il fattore di riduzione della luce disponibile dell'attraversamento F_R secondo i seguenti criteri:

$$\begin{aligned} P_O = 1 & \rightarrow F_R = 0.4 \\ 1 < P_O \leq 0.75 & \rightarrow F_R = 0.5 \\ 0.75 < P_O \leq 0.5 & \rightarrow F_R = 0.6 \\ 0.5 < P_O \leq 0.25 & \rightarrow F_R = 0.8 \\ 0.25 < P_O < 0 & \rightarrow F_R = 0.9 \\ P_O = 0 & \rightarrow F_R = 1 \end{aligned}$$

4.1.4 Mappatura del Pericolo

La metodologia precedentemente descritta fornisce una rappresentazione della variabilità spaziale di altezza/tirante idrico e della velocità nelle aree allagabili per ciascuno dei tre scenari di pericolosità.

Noti nei vari punti del territorio i tiranti d'acqua massimi h e le velocità massime v che si manifestano durante un evento di piena, la condizione di pericolo è legata all'intensità del fenomeno (I), funzione di tirante e velocità.

La classificazione della pericolosità idraulica per i fenomeni di alluvione torrentizia viene definita in funzione della probabilità di accadimento dell'evento e della sua intensità tramite una matrice tipo BUWAL (Heinimann et al., 1998).

I tre intervalli di tempo di riferimento per la valutazione della probabilità di accadimento dei fenomeni alluvionali sono gli stessi già definiti durante il I Ciclo di Gestione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA):

- probabilità di accadimento elevata: $Tr \leq 30$ anni;
- probabilità di accadimento media: $30 < Tr \leq 100$ anni;
- probabilità di accadimento bassa: $100 < Tr \leq 300$ anni.

Le grandezze di riferimento per l'assegnazione dell'intensità sono il tirante (h , in m) e la velocità (v , in m/s). Sono previste tre classi di intensità, definite secondo i seguenti criteri, espressi tramite gli operatori logici AND e OR:

- intensità elevata: $h > 2$ OR $h*v > 2$;
- intensità media: casi rimanenti
- intensità bassa: $h < 0.5$ AND $h*v < 0.5$;

Sono individuate tre classi di pericolosità, moderata (P1), media (P2) ed elevata (P3) tramite la matrice BUWAL riportata in Figura 20.

Per le aree di nuova classificazione, la metodologia suindicata, basata sulla matrice di tipo BUWAL, potrà essere integrata con valutazioni della pericolosità legata a processi di dinamica morfologica, quali ad esempio erosione delle sponde ed avulsione (Rinaldi *et al.*, 2016).

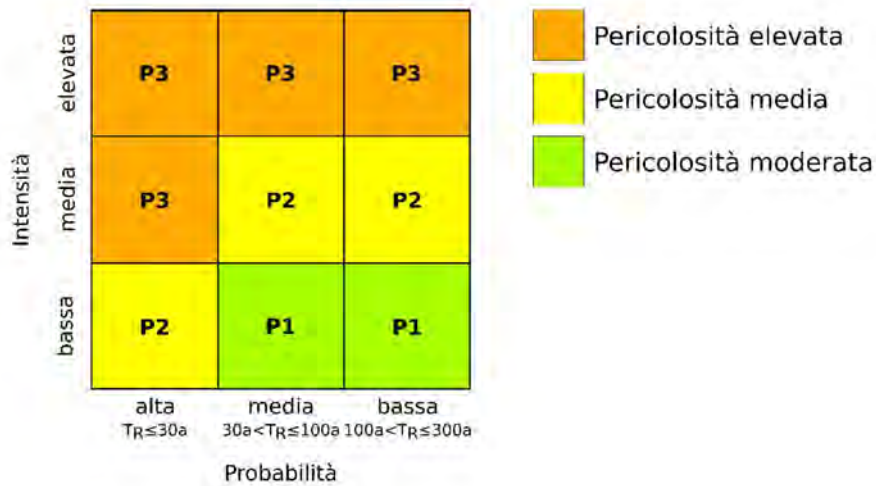


Figura 20: Matrice di interazione per alluvioni torrentizie.

5 I cambiamenti climatici

Le analisi condotte durante il progetto TRUST (Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, 2011) hanno permesso di caratterizzare i cambiamenti climatici e le possibili alterazioni del ciclo idrogeologico che potranno interessare il distretto idrografico delle Alpi Orientali nel corso del XXI secolo.

Nello specifico è stato utilizzato un insieme di simulazioni climatologiche, condotte con diversi modelli: in una prima fase le simulazioni sono state condotte con un modello di circolazione generale globale ad alta risoluzione "atmosfera - oceano" del CMCC, accoppiato con un modello del mare Mediterraneo, per produrre scenari climatologici relativamente al periodo 1950-2100. In questo modello le componenti globali (oceano e atmosfera) sono accoppiate con un modello del mare Mediterraneo ad alta risoluzione, capace di riprodurre i principali meccanismi fisici dell'area di interesse (Figura 21); in una fase successiva, i dati globali sono stati oggetto di downscaling dinamico al fine di raggiungere una risoluzione spaziale sufficiente per l'esecuzione di studi di impatto sull'area del distretto. Il downscaling è stato eseguito utilizzando l'output del modello globale per generare le condizioni al contorno da fornire al modello regionale COSMO-CLM, con il quale sono state eseguite simulazioni ad altissima risoluzione (8 km). COSMO-CLM è un modello regionale non idrostatico realizzato dalla CLM-Community a partire dal modello meteorologico LM del DWD (Germania). La non idrostaticità ha consentito una descrizione ottimale dei fenomeni convettivi, responsabili di eventi estremi di precipitazione.

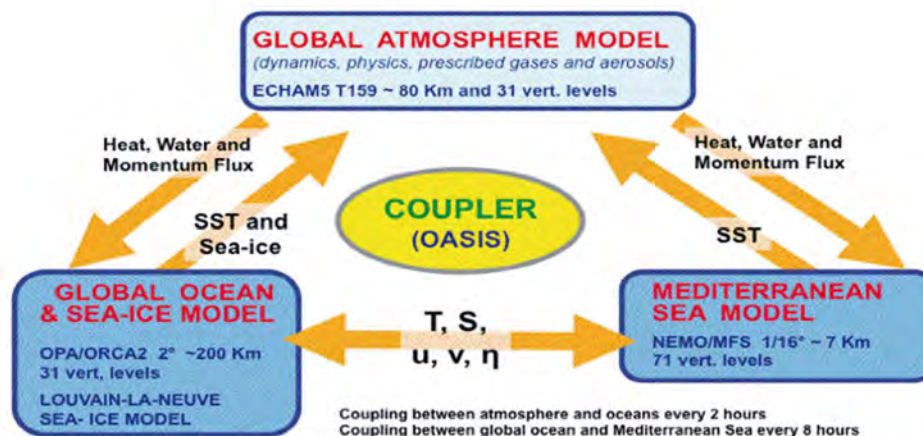


Figura 21: Rappresentazione del modello globale del CMCC.

I modelli globale e regionale sono stati utilizzati per eseguire simulazioni climatiche della seconda parte del XX secolo (1951-2000) e proiezioni sul XXI secolo (2001-2050). Al fine di verificare l'affidabilità dei modelli nel riprodurre il clima osservato nell'area del distretto, è stato utilizzato il data set grigliato ad alta risoluzione della temperatura a 2 metri e della precipitazione, fornito dal Climate Research Center dell'Università East Anglia (Mitchell *et al.*, 2004).

Inoltre, al fine di confrontare i risultati delle simulazioni TRUST con quelli ottenuti con altri modelli e sostanziare così la discussione sulle proiezioni dei cambiamenti climatici attesi, sono stati usati dati (temperatura a 2 metri e precipitazione) ottenuti con le simulazioni CMPI3.

Infine sono stati considerati i cicli stagionali relativi al periodo di riferimento 1971-2000 dei parametri quali la precipitazione, la temperatura a 2 metri e l'evapotraspirazione. Essi sono poi stati confrontati con i cicli stagionali relativi alle proiezioni climatiche per il periodo 2071-2100. Inoltre, sono stati analizzati i trend calcolati su tutto il XXI secolo.

Il modello climatico globale del CMCC ha mostrato buone capacità nel riprodurre le principali caratteristiche del clima osservato. L'errore nella temperatura superficiale del mare (SST) è simile all'errore sistematico mostrato dalla maggior parte dei modelli globali accoppiati allo stato dell'arte. Una lieve sovrastima della temperatura di circa 1°C interessa alcune aree degli oceani tropicali, mentre un errore di sottostima più pronunciato (4-5°C) è visibile nella parte nord-ovest degli oceani dell'Emisfero Nord, specialmente il nord Atlantico. Nella regione euro-mediterranea, molte caratteristiche del clima simulato sembrano essere in buon accordo con le osservazioni. Come mostrato e discusso in dettaglio in Gualdi et al., (2010) il modello descrive molto bene le caratteristiche stagionali osservate di temperatura superficiale e precipitazione. Specialmente la valutazione della precipitazione orografica sembra migliorata grazie all'alta risoluzione adottata, se confrontata con altri AOGCM allo stato dell'arte come, per esempio, quelli usati nel programma CMIP3 (Meehl *et al.*, 2007).

5.1 Le proiezioni climatologiche

All'interno del territorio del Distretto delle Alpi Orientali, durante il XXI secolo è predetto dal modello un riscaldamento dell'area è di circa 5°C. Le simulazioni idrologiche mostrano per il futuro (2071-2100) un incremento del deflusso medio mensile in inverno, dovuto ad un generale aumento delle precipitazioni e delle temperature che genera modificazioni nelle modalità di accumulo e scioglimento nivale. Il deflusso simulato forzando il modello con le proiezioni climatiche future, se confrontato con quello attuale, evidenzia una leggera diminuzione in termini di volume totale annuo ed un lieve incremento per gli eventi estremi di piena. Rispetto ai dati storici (1950-1965) trova conferma, ed anzi viene enfatizzata, una marcata diminuzione nei deflussi medi nel periodo primaverile – estivo (da Aprile ad Agosto), tendenza questa già in atto allo stato attuale mentre si assiste ad un significativo incremento delle intensità delle precipitazioni nel periodo autunnale.

In generale, nei bacini di studio, si evidenzia un anticipo dei processi di scioglimento del manto nevoso ed una conseguente diminuzione dei deflussi nel periodo estivo.

5.2 Mappatura del pericolo legata al cambiamento climatico

L'attività sperimentale effettuata dal distretto ha valutato un innalzamento medio di circa 20 cm dei livelli idrici nei corsi d'acqua legato al cambiamento climatico.

Nel caso di territorio protetto da arginature, il processo di inizio della formazione della breccia previsto in presenza di un franco pari a circa 20 cm (sezione 1.2) è rappresentativo del fenomeno di innalzamento medio sopra definito.

6 La mappatura del Rischio

Il concetto di rischio è legato alla capacità di calcolare la probabilità che un evento pericoloso accada, nonché alla capacità di definire il danno provocato. Il rischio è quindi legato alla possibilità che un fenomeno naturale o indotto dalle attività dell'uomo possa causare effetti dannosi sulla popolazione, gli insediamenti abitativi e produttivi e le infrastrutture, all'interno di una particolare area, in un determinato periodo di tempo. Rischio e pericolo, quindi, non sono la stessa cosa: il pericolo è la causa, il rischio sono le possibili conseguenze derivanti dal suo effetto, cioè il danno che ci si può attendere.

Alla luce dei concetti sopra esposti, il rischio viene determinato secondo la formulazione proposta da KR WP1 Team (2012) che trova il suo riferimento normativo italiano nel D.P.C.M. del 29 settembre 1998 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998 n.180:

$$\bar{R} = \bar{P} \cdot \bar{V} \cdot \bar{E} = \bar{P} \cdot \bar{D} \quad (32)$$

dove:

\bar{P} = Pericolosità: è la probabilità che un fenomeno di una determinata intensità si verifichi in un certo periodo di tempo, in una data area;

\bar{V} = Vulnerabilità: è la propensione di un elemento (persone, edifici, infrastrutture, attività economiche) a subire danneggiamenti in conseguenza delle sollecitazioni indotte da un evento di una certa intensità;

\bar{E} = Esposizione o Valore esposto: è il numero di unità (o "valore") di ognuno degli elementi a rischio presenti in una data area, come le vite umane o gli insediamenti;

\bar{D} = Danno potenziale: è la combinazione del valore dell'elemento esposto con il valore di tale elemento rispetto ad un evento di data intensità.

La vulnerabilità risulta invece dall'interazione tra componenti fisico-ambientali e sociali. La prima componente rappresenta il contesto nel quale si vuole valutare la vulnerabilità. La seconda componente rappresenta la percezione o la consapevolezza, da parte della società, della possibilità che un evento avverso si verifichi. Una maggiore consapevolezza si riflette, infatti, in una maggiore preparazione nel caso in cui l'evento si manifesti. Per definire la vulnerabilità in termini fisici viene utilizzato come parametro la suscettibilità da riferire a un cosiddetto bersaglio (Balbi *et al.*, 2012). La suscettibilità è legata al contesto nel quale si manifesta il fenomeno e si riferisce alla valutazione quantitativa (o qualitativa) della tipologia di fenomeno, dei fattori predisponenti e delle caratteristiche del fenomeno stesso. In buona sostanza è un fattore fisico-ambientale predisponente.

Per bersaglio deve intendersi un elemento esposto, quali persone o cose. Una specifica trattazione sarà affrontata nel successivo paragrafo.

La vulnerabilità sociale viene invece suddivisa in:

- "Adaptive Capacity" o capacità di adattamento ex ante (AC), rappresenta la capacità di un individuo, di una comunità, società o un'organizzazione di prepararsi e/o attuare azioni volte a ridurre il rischio di impatti negativi, per limitare i danni o sfruttare opportunità positive (IPCC-SREX, 2012 e (IPCC-SREX, 2012; Torresan *et al.*, 2012);
- "Coping Capacity" o capacità di adattamento ex post (CC), rappresenta la capacità di far fronte agli eventi naturali negativi, cioè la capacità di affrontare, reagire e superare situazioni avverse facendo

leva sulle competenze disponibili, sulle risorse e sulle opportunità trasformando la struttura, il funzionamento o l'organizzazione del sistema (IPCC-SREX, 2012; Torresan *et al.*, 2012).

Si definisce rischio residuo il rischio che si prevede rimanga anche dopo che è stata realizzata la misura di mitigazione pianificata, o quello che può essere deliberatamente accettato. La realizzazione di interventi strutturali non va assunta come una condizione di sicurezza assoluta. Il concetto di rischio residuo deve quindi essere sempre compreso nelle valutazioni di sviluppo del territorio.

Nell'ambito di una trattazione generale, anche per l'esposizione deve essere considerato l'aspetto economico e sociale, introducendo il cosiddetto Fattore di Valore. Per Fattore di Valore deve intendersi il valore economico della vita, la volontà a pagare o accettare una ricompensa, il numero di utenti diretti ed indiretti. Tali fattori sopra richiamati hanno l'obiettivo di supportare i decisori a dare valore monetario ai danni e a classificarli secondo quanto proposto da Mertz *et al.* (2010) in:

- danni diretti e tangibili: danni provocati dall'evento naturale avverso che si verificano in concomitanza con l'evento stesso ed i cui costi sono facilmente monetizzabili;
- danni diretti ed intangibili: sono i valori perduti in concomitanza all'evento naturale avverso la cui monetizzazione è difficile o controversa, perché non hanno un mercato;
- danni indiretti e tangibili: danni e relativi costi indotti dall'evento naturale che si verificano in tempi successivi all'evento naturale o in luoghi diversi da quelli in cui si è verificato l'impatto dell'evento naturale avverso, facilmente quantificabili;
- danni indiretti intangibili: danni e relativi costi indotti dall'evento naturale che si verificano in tempi successivi all'evento naturale o in luoghi diversi da quelli in cui si è verificato l'impatto dell'evento naturale avverso, difficilmente monetizzabili.

Questo tipo di impostazione generale è presentato in Figura 22 mediante un diagramma di flusso, che descrive i diversi passi necessari per una valutazione integrata del rischio alluvionale.

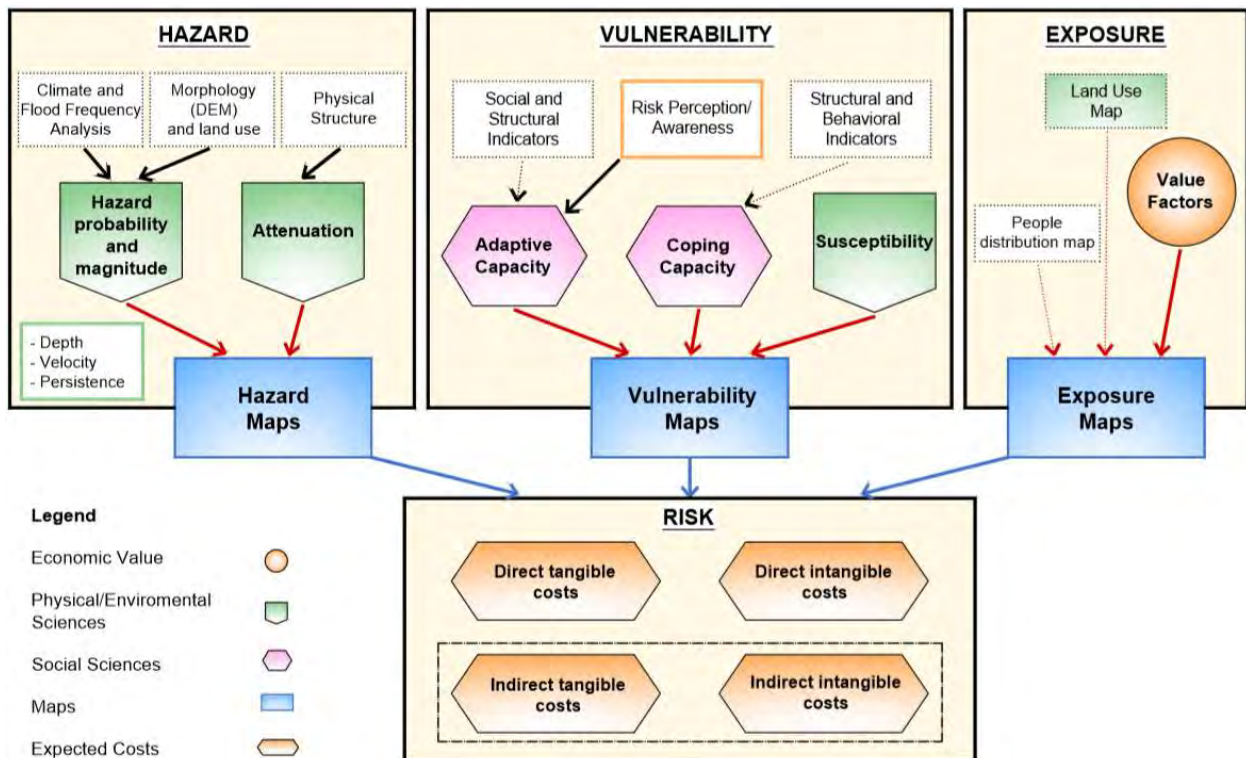


Figura 22: Diagramma di flusso per la determinazione del Rischio.

Ai fini della mappatura del rischio, si assume che la quantificazione del rischio sia espressa in termini relativi, ovvero il rischio di un elemento esposto assume una gradazione compresa tra 0 e 1, dove 0 e 1 sono rispettivamente i casi di assenza di rischio o massimo rischio dell'elemento esposto.

Riprendendo il concetto di bersaglio precedentemente esposto, lo stesso rappresenta le seguenti macro-categorie di elementi esposti:

- popolazione (art.6-5.a della 2007/60/CE e del D.Lgs.23.02.2010);
- attività economiche (art.6-5.b della 2007/60/CE): edifici, agricoltura, ambienti naturali e semi-naturali (art.6-5.d del D.Lgs. 23.02.2010), infrastrutture e strutture strategiche (art.6-5.b del D.Lgs. 23.02.2010);
- beni ambientali e culturali-archeologici (art.6-5.c del D.Lgs.23.02.2010), comprendendo tra essi, gli impianti di cui all'allegato I del D.Lgs n°59 del 18.2.2005 e le aree protette di cui all'allegato 9 del D.Lgs. 152 del 2006.

Le tre macro-categorie identificate tenendo in conto anche del reporting sheet di Novembre 2010 trovano i loro descrittori nelle classi di uso del suolo riportati in Tabella 4.

Tabella 4: Lista delle classi di uso del suolo utilizzate come descrittori delle macro-categorie.

COD	DESCRIZIONE
1	Residenziale
2	Strutture ospedaliere, sanitarie, assistenza sociale
3	Edifici sede di servizi pubblici
4	Commerciale e artigianale
5	Industriale
6	Agricolo specializzato
7	Agricolo non specializzato, boschi, prati, pascoli, aree cimiteriali, parchi urbani
8	Turistico-Ricreativo
9	Improduttivo
10	Aree sciabili, Campo da golf, Maneggio
11	Campeggi
12	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza primaria
13	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza secondaria
14	Zona ferroviaria
15	Zona per impianti turistici, Zona per attrezzature collettive, Zona per attrezzature collettive sovracomunali, Attrezzature collettive nel sottosuolo
16	Reti tecnologiche e di servizio
17	Strutture a supporto delle reti di comunicazione e trasporto (aeroporti, porti, aree di servizio, parcheggi)
18	Zona per la produzione di energia
19	Discariche, Impianti di trattamento dei rifiuti, Aree estrattive, Depuratori
20	Aree su cui insistono impianti di cui all'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59
21	Aree di rilievo storico-culturale e archeologico; beni culturali
22	Beni ambientali
23	Zona militare

6.1 La pericolosità

Riprendendo i concetti già espressi nell'introduzione per la determinazione del rischio e l'esigenza di una sua rappresentazione in termini relativi nell'intervallo compreso tra 0 e 1, è necessario associare ai 3 gradi di pericolosità un valore di natura numerica.

Anche in questo caso, sulla base di valutazioni di natura strettamente qualitativa, nonché sulla base di valutazioni già effettuate da altre amministrazioni (Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche – Provincia Autonoma di Trento – DPR 15/02/2006), si assume per P1, P2, P3 rispettivamente il valore di 0.4, 0.8, 1.

6.2 La determinazione della Vulnerabilità

Con riferimento alle tre macro-categorie richiamate precedentemente, si riporta di seguito la metodologia per la quantificazione della vulnerabilità.

6.2.1 Persone

Per caratterizzare la vulnerabilità associata alla presenza umana, si fa riferimento a valori di velocità e profondità che determinano "instabilità" rispetto alla posizione di equilibrio (eretta).

Molti degli autori che si sono occupati della instabilità delle persone in acqua fluente propongono di far riferimento a valori critici del prodotto tra tirante d'acqua (h) e velocità (v) del flusso.

Ramsbottom *et al.* (2004) e Penning-Rowsell *et al.* (2005), hanno proposto per la popolazione un'equazione semiquantitativa, ripresa anche in "Flood Risks to People - Phase 2 - Guidance Document" (2006), secondo rapporto tecnico del progetto "Risks to People" del Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), che lega un indice di pericolo da inondazione (Flood Hazard Rating, FHR) con l'altezza e la velocità dell'acqua oltre che ad un fattore connesso alla quantità di flottante trasportato (Debris Factor - DF). Il tutto viene riassunto nella seguente relazione:

$$FHR = h \cdot (v + 0.5) + DF \quad (33)$$

I valori di DF in funzione di h , v e uso del suolo prevalente sono riportati in Tabella 5.

Tabella 5: DF per diversi valori di h , v e uso del suolo prevalente.

CAMPI DI h E v	Pascolo/Agricolo	Bosco	Urbano
$0 \text{ m} < h \leq 0.25 \text{ m}$	0	0	0
$0.25 \text{ m} < h \leq 0.75 \text{ m}$	0	0.5	1
$h > 0.75 \text{ e/o } v > 2 \text{ m/s}$	0.5	1	1

Sulla base dei valori che può assumere FHR sono stati associati, in via del tutto deduttiva, i valori di V_p , cioè del valore di vulnerabilità connesso alle persone fisiche.

Una delle ipotesi di base che viene assunta è che le persone risultano vulnerabili per tiranti superiori almeno a 0.25 m. Nella Tabella 6 sono riassunte tali considerazioni.

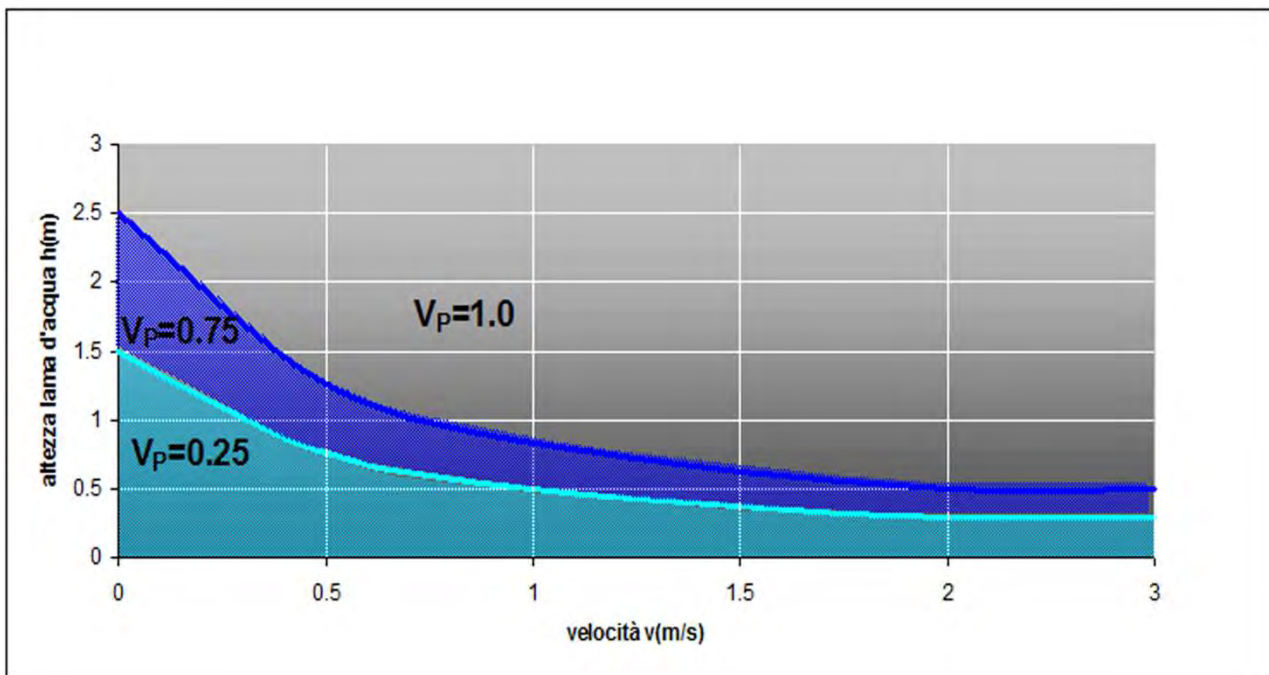


Figura 23: Valori di vulnerabilità legata alle persone fisiche (V_p) in funzione dei valori di h e v .

Fanno eccezione a queste, le persone ospitate in “Strutture ospedaliere, sanitarie, assistenza sociale” in cui la vulnerabilità viene assunta pari a 1 già per $FHR > 0.75$, in quanto il loro stato fisico le rende maggiormente vulnerabili.

La tematica sopra esposta è riassunta attraverso la rappresentazione grafica del campo h, v di Figura 23.

Tabella 6: Valori di vulnerabilità in relazione alle persone fisiche.

DESCRIZIONE	CAMPI di FHR	V_p
Cautela: "Zone inondate da acque fluenti con basso tirante o da acque ferme ma profonde"	$FHR < 0.75$	0.25
Pericolo per qualcuno (bambini): "Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso"	$0.75 \leq FHR < 1.25$	0.75
Pericolo per chiunque: "Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso"	$FHR \geq 1.25$	1

6.2.2 Attività economiche

Le attività economiche trovano riferimento nelle categorie di uso del suolo di Tabella 4. Anche in questo caso la metodologia adottata si basa sull'identificazione di tre classi di vulnerabilità (V_E), in funzione dei valori di h e v che manifestano in conseguenza ad un allagamento.

Per quanto concerne gli edifici (categorie 1, 2, 3, 4, 5, 14, 15, 17, 18, 19, 23 di Tabella 4), essi possono collassare a causa della pressione dell'acqua, dello scalzamento delle fondazioni, o di una combinazione di tali cause. In aggiunta, va tenuto presente il possibile effetto del materiale solido trasportato da una piena soprattutto in forma di legname e materiale detritico che può provocare danni alle strutture.

La formulazione proposta da Clausen e Clark (1990) per edifici in mattoni e muratura viene modificata per tenere in conto le sperimentazioni condotte da Risk-Frontiers (Fonte: *Natural Hazards Research Centre*)

sulle perdite potenziali dovute ai danni da inondazione ai beni contenuti negli edifici: i risultati di laboratorio evidenziano che già per altezze d'acqua di 0.5 m le perdite in termini di "beni interni" si aggirano intorno al 50%. Facendo riferimento alla Figura 24, la vulnerabilità strutturale degli edifici e dei beni in essi contenuti è sintetizzata secondo le leggi di Tabella 7.

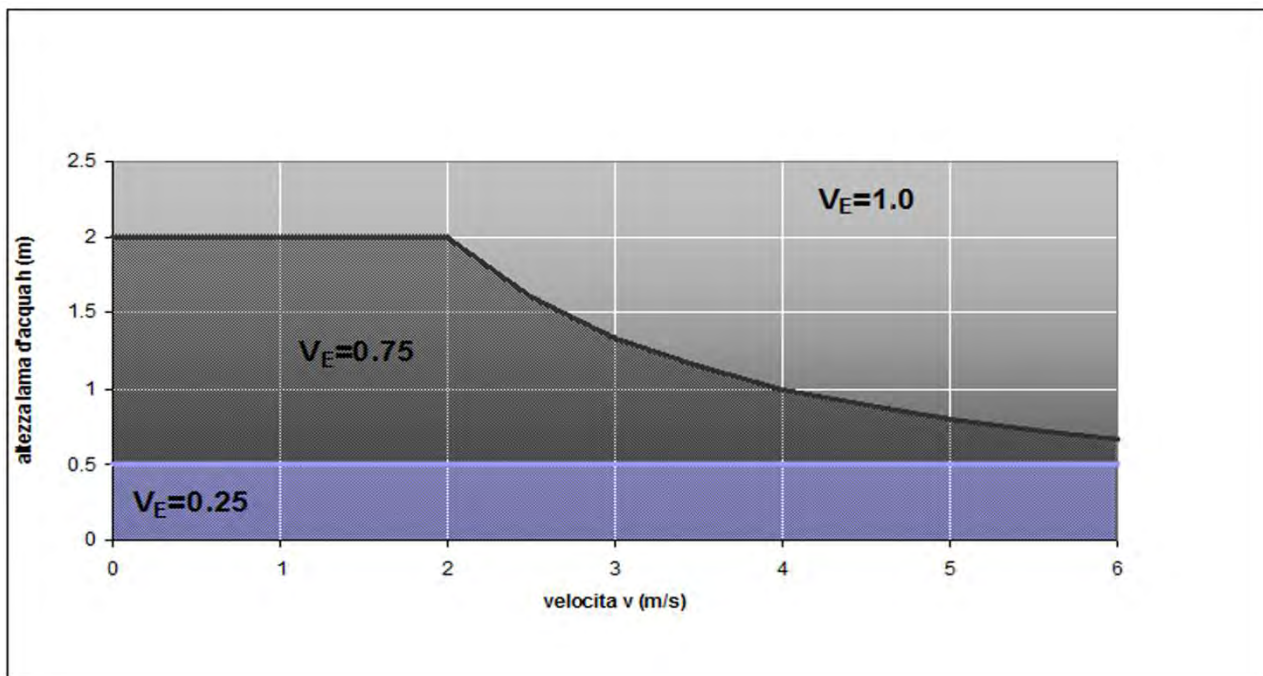


Figura 24: Valori di vulnerabilità legata agli edifici (V_E) in funzione dei valori di h e v .

Tabella 7: Attribuzione della vulnerabilità agli edifici.

DESCRIZIONE	LOGICHE di h e v	V_E
Danni simili a quelli causati da un'inondazione naturale a basso tirante	se $h < 0.5$	0.25
Danni moderati, come finestre e porte buttate a terra, danni parziali ai "beni interni" e piccoli danni ai principali elementi strutturali degli edifici	con $v < 2$ m/s se $0.5 \leq h < 2$ m; con $v \geq 2$ m/s se $(h \cdot v) \leq 4$ m ² /s e $h \geq 0.5$	0.75
Collasso totale o danni gravi alle strutture che necessitano demolizione e ricostruzione	con $v < 2$ m/s se $h \geq 2$ m; con $v \geq 2$ m/s se $(h \cdot v) > 4$ m ² /s	1

Nel caso di campeggi (categoria 11 di Tabella 4), tali valori limite sono modificati secondo alcuni risultati delle analisi condotte da Majjala (2001), come riportato in Figura 25 e Tabella 8.

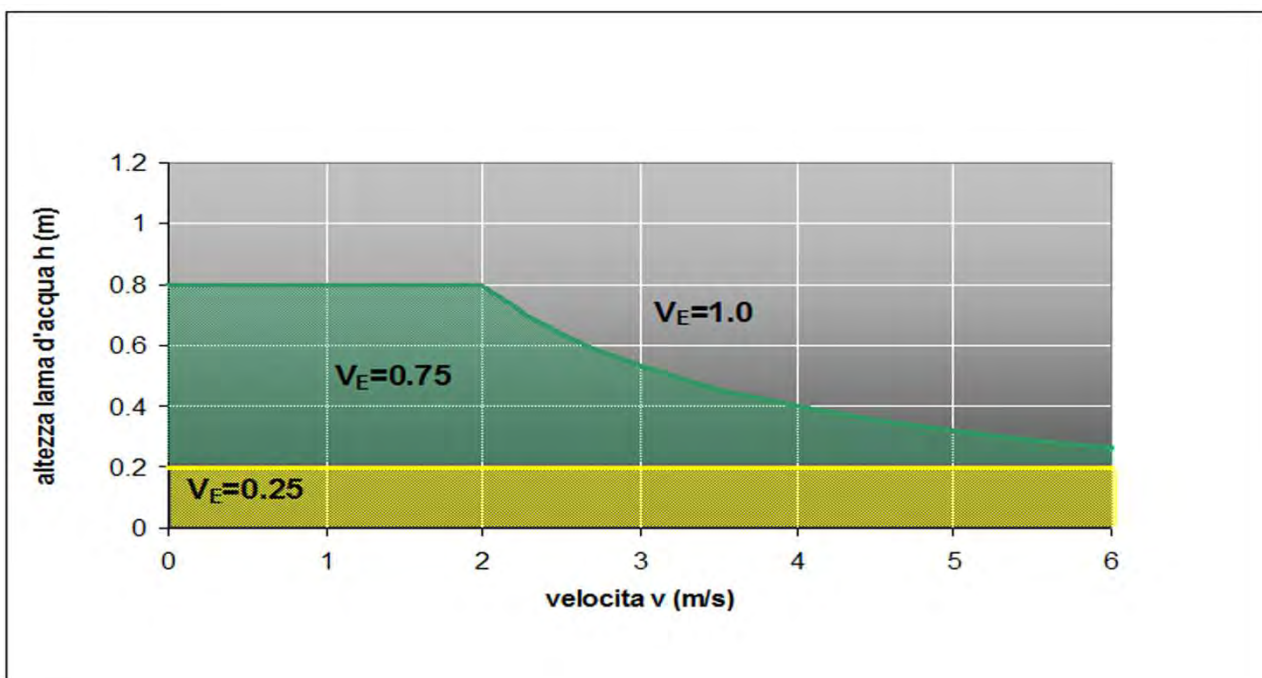


Figura 25: Valori di vulnerabilità legata ai campeggi (V_E) in funzione dei valori di h e v .

Tabella 8: Attribuzione della vulnerabilità ai campeggi (categoria 11 di Tabella 4).

DESCRIZIONE	LOGICHE di h e v	V_E
Danni simili a quelli causati da un'inondazione naturale a basso tirante	se $h < 0.2$	0.25
Danni parziali ai "beni interni" e alla struttura stessa	con $v < 2$ m/s se $0.2 \leq h < 0.8$ m; con $v \geq 2$ m/s se $(h \cdot v) \leq 1.6$ m ² /s e $h \geq 0.2$	0.75
Collasso totale o danni gravi alla struttura	con $v < 2$ m/s se $h \geq 0.8$ m; con $v \geq 2$ m/s se $(h \cdot v) > 1.6$ m ² /s	1

Per le classi d'uso del suolo corrispondenti alle infrastrutture di collegamento (categorie 12 e 13 di Tabella 4), la vulnerabilità è legata all'impossibilità di utilizzare le infrastrutture e quindi all'interruzione del servizio. Ciò può verificarsi sia con che senza danni strutturali alle infrastrutture stesse (semplice allagamento o anche distruzione del bene). Sulla base delle stime di altezza d'acqua e velocità a cui gli autoveicoli diventano instabili in presenza di inondazione viene adottata la funzione di vulnerabilità di Tabella 9, rappresentata in Figura 26. Va precisato che i valori di h e v derivano da osservazioni condotte durante sperimentazione in laboratorio da Reiter (2000), e dei valori di riferimento limite riportati nel rapporto finale di *Australian Rainfall and Runoff (AR&R) Project n. 10 "Appropriate Safety Criteria for Vehicles – Literature Review"*, rel. Febbraio 2011.

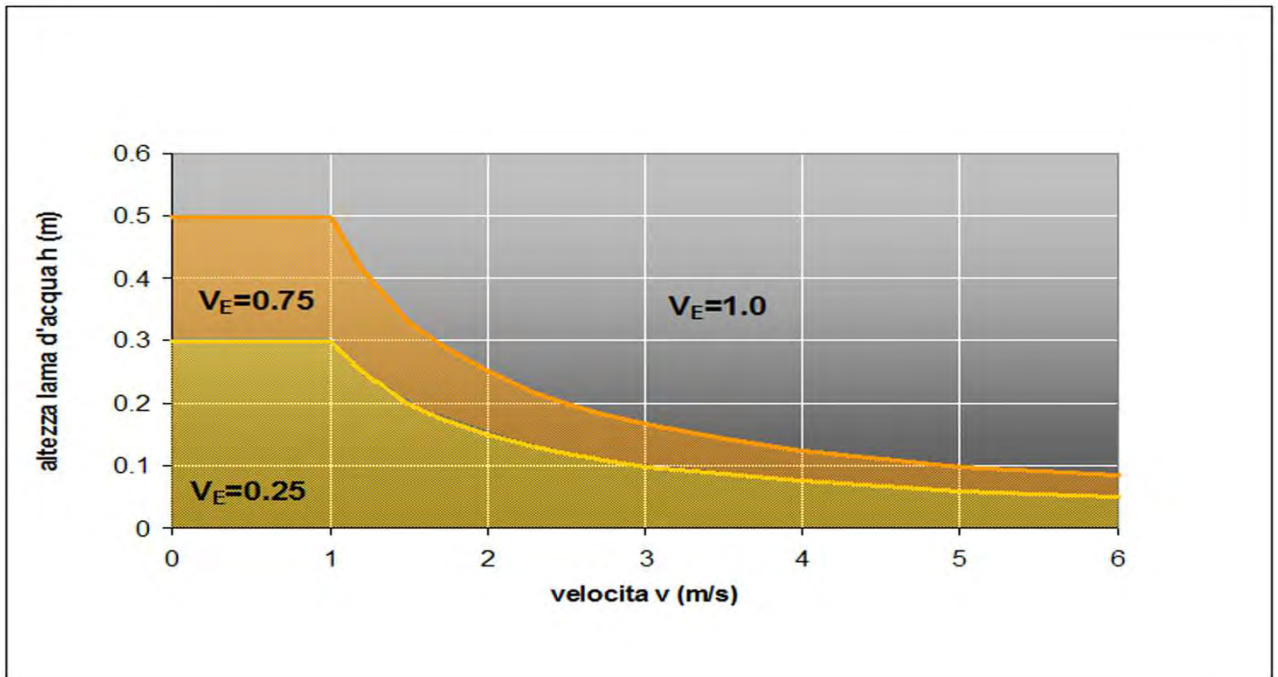


Figura 26: Valori di vulnerabilità legata alle infrastrutture di collegamento (V_E) in funzione dei valori di h e v .

Tabella 9: Attribuzione della vulnerabilità alle infrastrutture viarie (categorie 12 ÷ 13 di Tabella 4).

DESCRIZIONE	LOGICHE di h e v	V_E
La stabilità del veicolo non è compromessa con eventuali danni ridotti; limitati disagi nell'utilizzo dell'infrastruttura	con $v < 1$ m/s se $h < 0.3$ m; con $v \geq 1$ m/s se $h \cdot v < 0.3$ m ² /s	0.25
Il veicolo si trova in condizioni di stabilità critica con eventuali danni parziali; si possono manifestare disagi nell'utilizzo dell'infrastruttura	con $v < 1$ m/s se $0.3 \leq h < 0.5$ m; con $v \geq 1$ m/s se $0.3 \leq h \cdot v < 0.5$ m ² /s	0.75
Il veicolo ha perso le condizioni di stabilità e si verificano danni significativi che ne compromettono il futuro; l'infrastruttura non è agibile	con $v < 1$ m/s se $h \geq 0.5$ m; con $v \geq 2$ m/s se $h \cdot v \geq 4$ m ² /s	1

Per le reti tecnologiche e di servizio, si assume che ci possa essere vulnerabilità sono in caso di tiranti e velocità maggiori rispettivamente a 2 m e 2 m/s. Nel qual caso V_E assume valore pari a 1.

Per la valutazione della vulnerabilità nelle aree agricole (categorie 6 e 7 di Tabella 4), si assume l'ipotesi che il danno, in prima istanza, è legato alla perdita del raccolto e, per valori di altezza e velocità più elevati, agli edifici e ai beni in essi contenuti. In relazione a ciò risulta intuitivo che la massima altezza d'acqua tollerabile che può sommergere un terreno agricolo dipende dal tipo di coltivazione e dall'altezza della vegetazione.

Citeau (2003) fornisce alcuni esempi in proposito tenendo conto anche della velocità del flusso: 1 m per frutteti e 0.5 m per i vigneti; velocità massime variano tra 0.25 m/s per i vegetali da campo e 0.5 m/s per i frutteti. Per le colture in serra i massimi danni da inondazione si verificano per altezze d'acqua pari a 1 m. Alte velocità possono non solo causare danni diretti alle coltivazioni ma determinare degradazione dei suoli a causa dell'erosione.

Tali valutazioni sono riassunte in Tabella 10 ÷ Tabella 13 e rappresentate nella Figura 27.

Nel caso di terreno improduttivo (Categoria 9 di Tabella 4) la vulnerabilità (V_E) assume valore 0.25, indipendentemente dai valori di h e v .

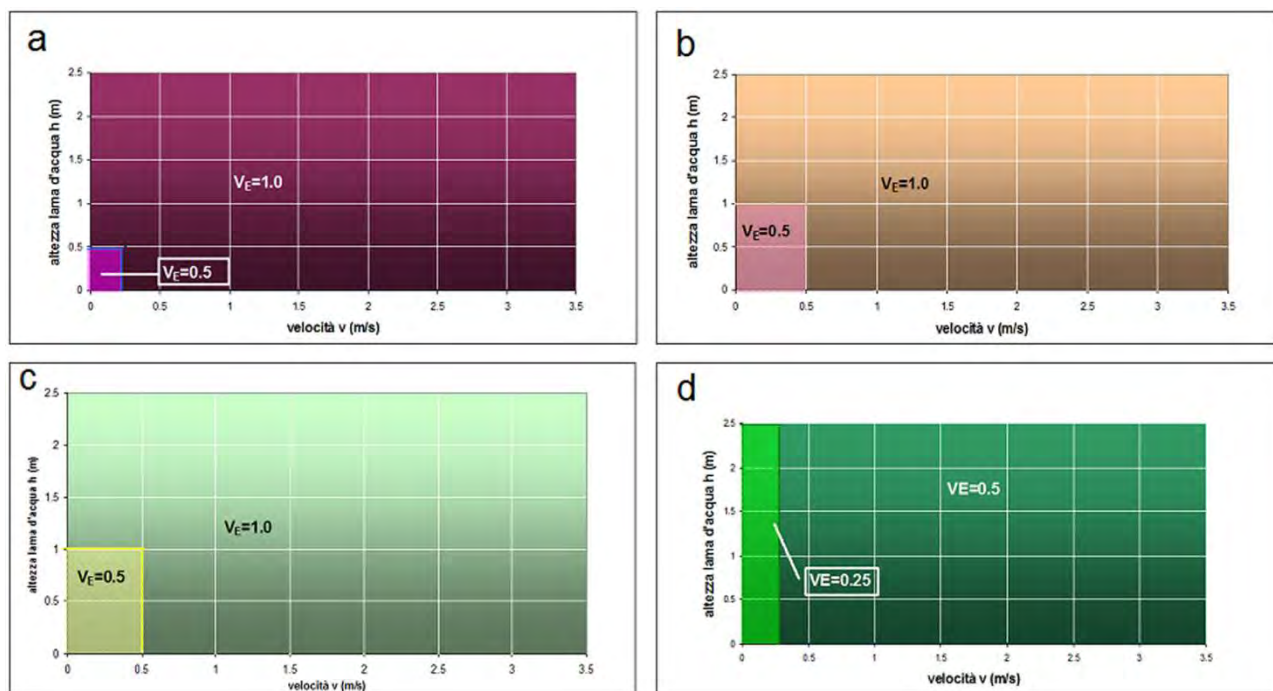


Figura 27: Valori di vulnerabilità (V_E) in funzione dei valori di h e v legata ai: (a) vigneti, (b) frutteti e olivi, (c) vegetali da campo, (d) ambienti naturali e semi-naturali.

Tabella 10: Attribuzione della vulnerabilità a vigneti (categoria 6 di Tabella 4).

DESCRIZIONE	LOGICHE di h e v	V_E
Altezze d'acqua e velocità tollerabili per lo specifico terreno agricolo	se $v \leq 0.25$ m/s e $h \leq 0.5$ m	0.5
Altezze d'acqua e velocità tollerabili per lo specifico terreno agricolo	altrimenti	1

Tabella 11: Attribuzione della vulnerabilità a frutteti e olivi (categoria 6 di Tabella 4).

DESCRIZIONE	LOGICHE di h e v	V_E
Altezze d'acqua e velocità tollerabili per lo specifico terreno agricolo	se $v \leq 0.5$ m/s e $h \leq 1$ m	0.5
Altezze d'acqua e velocità tollerabili per lo specifico terreno agricolo	altrimenti	1

Tabella 12: Attribuzione della vulnerabilità a vegetali da campo (categoria 7 di Tabella 4).

DESCRIZIONE	LOGICHE di h e v	V_E
Altezze d'acqua e velocità tollerabili per lo specifico terreno agricolo	se $v \leq 0.5$ m/s e $h \leq 1$ m	0.5
Altezze d'acqua e velocità tollerabili per lo specifico terreno agricolo	altrimenti	1

Tabella 13: Attribuzione della vulnerabilità per ambienti naturali e semi-naturali (categoria 7 e 10 di Tabella 4).

DESCRIZIONE	LOGICHE di h e v	V _E
Altezze d'acqua e velocità tollerabili per lo specifico ambiente	se $v \leq 0.25$ m/s	0.25
Altezze d'acqua e velocità tollerabili per lo specifico ambiente	altrimenti	0.5

6.2.3 Ambiente e beni culturali

Evers (2006) descrive la suscettibilità ambientale rispetto alle inondazioni mediante 3 indicatori: contaminazione/inquinamento, erosione, "spazi aperti". La contaminazione è causata essenzialmente da tre sorgenti: industrie, rifiuti umani/animali, stagnazione delle acque esondate. L'erosione può causare disturbi alla superficie del terreno e alla copertura vegetale oltre che compromettere eventuali infrastrutture. Gli "spazi aperti" si riferiscono alle aree con ambiente naturale usate per le attività ricreative all'esterno, quali attrazioni turistiche e riserve naturali.

L'approccio proposto nel Distretto delle Alpi Orientali è quello di identificare l'ambiente come le Aree Protette potenzialmente interessate dalle inondazioni. In particolar modo nel caso di presenza di aree sensibili rispetto ai nutrienti, comprese quelle designate come zone vulnerabili a norma della direttiva 91/676/CEE (Nitrati) e le zone designate come aree sensibili a norma della direttiva 91/271/CEE (Reflui urbani), si assume vulnerabilità pari a 1 (categoria 20 di Tabella 4).

Analogamente nel caso invece di aree designate per la protezione degli habitat e delle specie, compresi i siti pertinenti della rete Natura 2000 istituiti a norma della direttiva 92/43/CEE (Direttiva Habitat) e della direttiva 79/409/CEE (Direttiva Uccelli) (categoria 8 e 22 di Tabella 4), viene valutata la presenza di impianti IPPC e/o di fonti rilevanti di inquinamento nell'intorno dell'area. In caso affermativo si pone vulnerabilità pari a 1. In caso negativo si tratta l'area secondo le leggi di Tabella 13.

La voce "cultural heritage" (patrimonio culturale) risulta, negli schemi forniti dalla CE per la fase di Valutazione Preliminare del Rischio, tra le categorie di potenziali conseguenze avverse associabili ad un evento di piena passato o possibile in futuro avendo a riferimento gli ambiti definiti nell'art.1 della Direttiva stessa. Allo stato attuale non si dispone di elementi conoscitivi o informativi tali da stabilire una vulnerabilità specifica dei singoli beni in funzione delle caratteristiche dell'inondazione, né si ritiene possibile stabilire una scala di valori circa l'importanza relativa dei beni stessi di cui alla categoria 21 di Tabella 4. Pertanto, nelle more di un approfondimento che permetta almeno una differenziazione per tipologia si ritiene cautelativo associare una vulnerabilità pari a 1.

6.3 La determinazione dell'Esposizione

Con riferimento alle tre macro-categorie richiamate precedentemente, si riporta di seguito la metodologia per la quantificazione dell'esposizione.

6.3.1 Persone

Nel presente lavoro l'esposizione delle persone è caratterizzata da due fattori. Il primo riguarda il numero di persone che insistono sul territorio che è espresso attraverso un fattore di densità (F_d), stabilito nelle 5 classi di Tabella 14.

Tabella 14: Valori relativi alla presenza umana (F_d).

NUMERO DI PERSONE	F_d
1 ÷ 50	0.90
51 ÷ 100	0.95
101 ÷ 500	0.98
> 500	1

Il secondo riguarda la durata temporale della presenza umana. Questa viene rappresentata dal fattore di durata (F_t), calcolato, come il rapporto della durata ipotizzata di permanenza rispetto alle 24 ore (PGUAP – Provincia Autonoma di Trento – DPR 15/02/2006). Nella Tabella 15 sono riportati detti valori per ciascuna delle classi utilizzate nel presente piano.

Tabella 15: Valori relativi alla presenza umana (F_t).

COD	DESCRIZIONE	F_t
1	Residenziale	1
2	Strutture ospedaliere, sanitarie, assistenza sociale	1
3	Edifici sede di servizi pubblici	1
4	Commerciale e artigianale	0.5 ÷ 1
5	Industriale	0.5 ÷ 1
6	Agricolo specializzato	0.1 ÷ 0.5
7	Agricolo non specializzato, boschi, prati, pascoli, aree cimiteriali, parchi urbani	0.1 ÷ 0.5
8	Turistico-Ricreativo	0.4 ÷ 0.5
9	Improduttivo	0.1
10	Aree sciabili, Campo da golf, Maneggio	0.3 ÷ 0.5
11	Campeggi	1
12	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza primaria	0.5
13	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza secondaria	0.5
14	Zona ferroviaria	0.7 ÷ 1
15	Zona per impianti turistici, Zona per attrezzature collettive, Zona per attrezzature collettive sovracomunali, Attrezzature collettive nel sottosuolo	1
16	Infrastruttura a rete, Infrastruttura per le comunicazioni	0.3 ÷ 0.5
17	Strutture a supporto delle reti di comunicazione e trasporto (aeroporti, porti, aree di servizio, parcheggi)	0.7 ÷ 1
18	Zona per la produzione di energia	0.4
19	Discariche, Impianti di trattamento dei rifiuti, Aree estrattive, Depuratori	0.3
20	Aree su cui insistono impianti di cui all'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59	0.9
21	Aree di rilievo storico-culturale e archeologico; beni culturali	0.5 ÷ 1
22	Beni ambientali	0.5 ÷ 1
23	Zona militare	0.1 ÷ 1

L'esposizione riferita alle persone (E_P) è quindi calcolata come:

$$E_P = F_d \cdot F_t \quad (34)$$

6.3.2 Attività Economiche

Per gli adempimenti normativi è richiesta l'indicazione della distribuzione (cioè della collocazione spaziale) e della tipologia delle attività economiche insistenti sull'area inondabile, nonché la valutazione delle potenziali conseguenze negative per le varie tipologie di attività.

L'esposizione relativa alle attività economiche (E_E) viene espressa attraverso i costi di ripristino, di mancata produzione e di mancata fruizione del servizio. I valori adottati per esprimere detta valenza economica, sono riportati nella Tabella 16.

Tabella 16: Valori relativi alla valenza economica (E_E).

COD	DESCRIZIONE	E_E
1	Residenziale	1
2	Strutture ospedaliere, sanitarie, assistenza sociale	1
3	Edifici sede di servizi pubblici	1
4	Commerciale e artigianale	1
5	Industriale	1
6	Agricolo specializzato	0.3 ÷ 1
7	Agricolo non specializzato, boschi, prati, pascoli, aree cimiteriali, parchi urbani	0.3
8	Turistico-Ricreativo	0.5
9	Improduttivo	0.1
10	Aree sciabili, Campo da golf, Maneggio	0.3 ÷ 1
11	Campeggi	0.5
12	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza primaria	1
13	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza secondaria	0.5 ÷ 1
14	Zona ferroviaria	1
15	Zona per impianti turistici, Zona per attrezzature collettive, Zona per attrezzature collettive sovracomunali, Attrezzature collettive nel sottosuolo	0.3
16	Infrastruttura a rete, Infrastruttura per le comunicazioni	1
17	Strutture a supporto delle reti di comunicazione e trasporto (aeroporti, porti, aree di servizio, parcheggi)	1
18	Zona per la produzione di energia	1
19	Discariche, Impianti di trattamento dei rifiuti, Aree estrattive, Depuratori	0.5
20	Aree su cui insistono impianti di cui all'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59	1
21	Aree di rilievo storico-culturale e archeologico; e culturali	1
22	Beni ambientali	1
23	Zona militare	0.1 ÷ 1

6.3.3 Ambiente e beni culturali

Per definire il valore esposto in relazione alla componente ambientale, analogamente a quanto sopra svolto, si procede in termini relativi tra le diverse classi di uso del territorio avendo in questo caso a riferimento le modifiche che possono essere indotte dall'evento calamitoso sull'assetto ambientale degli elementi coinvolti. Detti valori (E_A) sono riportati in Tabella 17.

Tabella 17: Valori relativi alla valenza ambientale (E_A).

COD	DESCRIZIONE	E_A
1	Residenziale	1
2	Strutture ospedaliere, sanitarie, assistenza sociale	1
3	Edifici sede di servizi pubblici	1
4	Commerciale e artigianale	0.8
5	Industriale	0.3 ÷ 1
6	Agricolo specializzato	0.7
7	Agricolo non specializzato, boschi, prati, pascoli, aree cimiteriali, parchi urbani	0.7
8	Turistico-Ricreativo	0.1
9	Improduttivo	0.3
10	Aree sciabili, Campo da golf, Maneggio	0.3
11	Campeggi	0.1
12	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza primaria	0.2
13	Reti di comunicazione e trasporto: strade di importanza secondaria	0.1
14	Zona ferroviaria	0.7
15	Zona per impianti turistici, Zona per attrezzature collettive, Zona per attrezzature collettive sovracomunali, Attrezzature collettive nel sottosuolo	0.3
16	Infrastruttura a rete, Infrastruttura per le comunicazioni	0.1
17	Strutture a supporto delle reti di comunicazione e trasporto (aeroporti, porti, aree di servizio, parcheggi)	1
18	Zona per la produzione di energia	1
19	Discariche, Impianti di trattamento dei rifiuti, Aree estrattive, Depuratori	1
20	Aree su cui insistono impianti di cui all'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59	1
21	Aree di rilievo storico-culturale e archeologico	1
22	Beni ambientali e culturali	1
23	Zona militare	0.1 ÷ 1

6.4 La determinazione del Rischio

La relazione (32) può essere rappresentata per ciascuna macrocategoria (rischio specifico), così come esplicitamente richiesto nel *reporting sheet* di Novembre 2011:

$$R_p = P \cdot V_p \cdot E_p = P \cdot D_p \quad (35)$$

$$R_E = P \cdot V_E \cdot E_E = P \cdot D_E \quad (36)$$

$$R_A = P \cdot V_A \cdot E_A = P \cdot D_A \quad (37)$$

dove $R_P, R_E, R_A, V_P, V_E, V_A, E_P, E_E, E_A, D_P, D_E, D_A$ rappresentano rispettivamente il rischio, la vulnerabilità, l'esposizione ed il danno riferiti alla componente popolazione (P), economica (E) e ambientale (A), cioè le tre macro-categorie sopra richiamate.

Affrontata così la determinazione del rischio specifico, per gli adempimenti previsti nel D. Lgs. 49/2010, per formulare un giudizio complessivo in termini di "rischio totale" (R), si procede ad una rideterminazione dello stesso per ricondurlo ad un unico valore.

Stabiliti i pesi da assegnare alle tre componenti del rischio, R può essere determinato mediante la seguente espressione:

$$R = \frac{p_P \cdot R_P + p_E \cdot R_E + p_A \cdot R_A}{p_P + p_E + p_A} \quad (38)$$

Risolta la (38) per ciascun tempo di ritorno, il rischio finale in ciascun punto del territorio è dato dal massimo rischio che può verificarsi.

Al fine di stabilire la classe di rischio (moderato, medio, elevato, molto elevato), vengono introdotti gli intervalli di appartenenza numerica delle classi di rischio, così come illustrato in Tabella 18.

Tabella 18: Definizione della classe di rischio (totale).

INTERVALLI DI R	DESCRIZIONE	CATEGORIA DI RISCHIO
$0 < R \leq 0.2$	Rischio moderato per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli	R1
$0.2 < R \leq 0.5$	Rischio medio per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche	R2
$0.5 < R \leq 0.9$	Rischio elevato per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale	R3
$0.9 < R \leq 1$	Rischio molto elevato per il quale sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche	R4

7 Metodologia di valutazione delle misure di mitigazione del Rischio

7.1 Metodologia di analisi dei benefici di una misura

Al fine di stimare l'impatto economico diretto delle alluvioni e i benefici indotti nella realizzazione di una misura strutturale o non strutturale, è possibile utilizzare le funzioni di vulnerabilità ed esposizione potenziale (danno) presentate ai paragrafi 6.2 e 6.3, riferendole al costo del relativo danno atteso per ogni metro quadrato di uso specifico del territorio (Ferri *et al.*, 2020). In un lavoro prodotto nel 2007 dai consulenti della società olandese HKV (Huizinga H.J., 2007), per conto del "Joint Research Centre" della Commissione Europea, per ciascuno dei 27 Stati membri dell'Unione (oltre 4 Stati non UE) sono state valutate delle funzioni di massimo danno, relative a 44 classi d'uso del suolo (classificazione CORINE LandCover), sulla base dei costi a nuovo (sostituzione) e dei costi di produttività valutati nei Paesi Bassi. Nello studio della HKV i costi "a nuovo" (o di sostituzione) sono stati utilizzati per la valutazione dei danni fisici agli edifici, al suolo e alle infrastrutture, ipotizzando che essi vengano completamente ricostruiti o ripristinati. I costi sulla produttività, invece, sono stati utilizzati per la stima dei costi d'interruzione di quelle attività produttive ubicate all'interno e all'esterno della zona allagata. Gli stessi metodi di valutazione sono stati applicati per determinare le funzioni di danno per ciascuna categoria, in tutti i paesi dell'UE-27, sulla base dei costi di sostituzione e dei costi di produttività, riferendoli ai prodotti nazionali lordi dei 27 Stati membri dell'Unione Europea.

I risultati dello studio e dei suoi successivi sviluppi (ad esempio vedi *Rusmini M*, 2009) sono di seguito sinteticamente esposti.

Tabella 19: Valori di danno massimo da inondazione (€/m²) per categoria di danno (HKV, 2007).

	Residential building	Commerce	Industry	Road	Agriculture
EU 27	575	476	409	18	0.59
Italy	618	511	440	20	0.63
Luxembourg	1443	1195	1028	46	1.28
Germany	666	551	474	21	0.68
Netherlads	747	619	532	24	0.77
France	646	535	460	21	0.66
Bulgaria	191	158	136	6	0.2

Nel caso in cui la base cartografica di uso del suolo utilizzata non distingue tra aree industriali e commerciali, viene applicata la media dei rispettivi valori di costo al metro quadrato (475.5 €/m²) mentre nelle aree urbane discontinue viene applicato il 50% del valore del danno riferito alle aree urbane continue (309 €/m²), a causa della loro bassa densità.

L'impatto economico diretto dell'alluvione viene pertanto determinato moltiplicando i valori di danno massimo al metro quadrato (di ciascuna categoria di suolo k) per le corrispondenti superfici, interessate dalle inondazioni, pesate sulla base del valore di danno attribuita a ciascuna area.

Pertanto, per la valutazione del Danno atteso medio annuo (EAD), viene fatto riferimento alla seguente espressione (FLOODsite, 2007):

$$EAD = \sum_{i=1}^k \frac{D(P_{i-1}) + D(P_i)}{2} \cdot |P_i - P_{i-1}| \quad (39)$$

in cui D è il danno in funzione della probabilità di superamento P di un tempo di ritorno i determinato dalla seguente formulazione:

$$D(P_i) = \sum_k \frac{\sum_j A_{D_j}^k \cdot w_{D_j}}{\sum_j w_{D_j}} \cdot D^k \quad (40)$$

La valutazione del beneficio netto relativo ad una misura di piano (sia strutturale che non strutturale) è data dalla differenza tra il valore di EAD relativo allo stato di fatto con il valore di EAD relativo alla configurazione di progetto.

Il campo di applicazione della metodologia nell'ambito del territorio del Distretto delle Alpi Orientali è stato appurato andando a confrontare il valore del danno teorico calcolato secondo la (40) con quello realmente manifestatosi durante un evento reale caratterizzato dallo stesso tempo di ritorno. Nello specifico l'operazione è stata effettuata nel bacino del Bacchiglione in cui si è verificato che, per un evento con tempo di ritorno di 100 anni, il danno calcolato è comparabile con quello realmente occorso a seguito dell'evento alluvionale, di pari tempo di ritorno, del 1 novembre 2010 (Regione del Veneto, 2011).

Circa il suo utilizzo per la valutazione dei benefici delle misure non strumentali si rimanda a Ferri *et al.* (2020).

7.2 Metodologia per la prioritizzazione delle misure di Piano

La Direttiva Alluvioni si pone correttamente nell'ottica di attivare, attraverso il PGRA, tutte le misure possibili per la mitigazione del rischio collocandole in un quadro coordinato che ne migliori l'efficacia complessiva. La definizione di tale quadro coordinato presuppone l'individuazione delle priorità delle misure vale a dire l'orientamento che il PGRA fornisce nell'attuazione delle misure.

Per la valutazione di priorità fra differenti alternative/misure è stato confermato il metodo dell'analisi multicriteriale (MCA), già introdotto nel I Ciclo di Gestione del Piano. L'analisi multicriteriale è da considerare uno strumento utile ad orientare la scelta e a stabilire un certo ordine di priorità a fronte di una serie di criteri prescelti. Un pregio dell'analisi multicriteriale, rispetto agli altri approcci, è l'applicabilità a situazioni complesse ma soprattutto la capacità di quantificare anche effetti che possono non essere facilmente monetizzabili (AA.VV. 2003).

Il Gruppo di lavoro "Working Group F", istituito in ambito europeo per sostenere l'attuazione della direttiva sulle alluvioni e per fornire una piattaforma per lo scambio di informazioni sulla gestione dei rischi di alluvione, ha incluso tale approccio tra quelli utilizzabili per stabilire le priorità delle misure. Ha inoltre raccomandato che l'analisi multicriteriale sia semplice e trasparente, affinché sia completamente controllabile, compresa e accettata dai portatori di interesse (Working Group F, 2010).

Con le Amministrazioni presenti nel Distretto, sono stati confermati i criteri che possono riflettere in modo semplice ed esaustivo la capacità delle diverse misure di piano di raggiungere gli obiettivi prefissati. I criteri scelti rappresentano i seguenti tre aspetti.

Il primo criterio qualifica la capacità della misura di mitigare il rischio agendo sulla riduzione del pericolo (tipico delle misure strutturali) o sulla riduzione del danno (tipico delle misure non strutturali).

Il secondo criterio qualifica la capacità di attuare la misura nei tempi previsti, tenendo conto della sua fattibilità finanziaria (in termini di scenario economico) e delle problematiche amministrative correlate alla sua attuazione.

Il terzo criterio intende rappresentare la rilevanza data dalla Comunità Europea agli interventi non strutturali (AA.VV, 2003) e alla compatibilità delle misure con gli obiettivi della Direttiva 2000/60/CE.

Il DPCM 27 settembre 2021, che sostituisce il DPCM 28 maggio 2015, è stato assunto quale riferimento per la definizione degli indicatori e dei relativi intervalli di riferimento per l'attribuzione dei punteggi da associare a ciascun criterio.

Con riferimento a quanto riportato in Tabella 20, indicato rispettivamente con n_j e $imax$, rispettivamente il numero massimo di indicatori i per criterio j (con $j=1...4$) e il valore numero complessivo di indicatori, il punteggio assegnato ad una misura del piano è pertanto dato da:

$$\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{n_j} \text{punteggio}_i \cdot \text{peso}_j = \sum_{i=1}^{imax} \text{valorepesato}_i \quad (41)$$

Infine, sulla base del punteggio determinato dalla (41), il livello di priorità della misura è assegnato sulla base delle classi riportate in Tabella 21.

Appare evidente che l'indicatore "Beni a rischio grave" non risulta significativo per assegnare una priorità ad un intervento in quanto, così come strutturato nel DPCM, non consente una valutazione dell'efficacia dell'intervento. Pertanto, ove ritenuto opportuno dai Soggetti Attuatori di una misura e comunque nel caso in cui non sia possibile calcolare le classi relative a tale indicatore, il calcolo della (41) deve essere effettuato sostituendo i punteggi relativi agli indicatori "Beni a rischio grave" e "Quantificazione del danno", con quelli riportati in Tabella 22.

Tabella 20: Indicatori per criterio e relativi pesi adottati nel MCA.

Criterio	Peso	Classe	Punteggio	Valore pesato
Priorità regionale	30	AA	4	30
		A	3	22.5
		M	1	7.5
		B	0	0
Livello di progettazione approvata	10	Esecutivo	3	10
		Definitivo	2	6.6
		Fattibilità	1	3.3
		Preliminare	0	0
Completamento	10	Sì	1	10
		NO	0	0
Persone a rischio diretto	30	$N \geq 1000$	4	30
		$200 \leq N < 1000$	3	22.5
		$50 \leq N < 200$	2	15
		$0 < N < 50$	1	7.5
		0 (no stima)	0	0
Beni a rischio grave	30	Edifici strategici (ospedali, scuole, sedi ammin., Nucleo abitato (autostrade, strade di grande com., ferrovie princ.)	4	30
		Grandi infrastrutture idriche		
		Industrie a rischio incidente rilevante		
		Lifelines (elettrorodotti, acquedotti, oleodotti, linee telefoniche, ecc)		
		Altre linee di comunicazione	3	22.5
		Case sparse		
		Strutture ricettive e di svago		
		Insedimenti produttivi/commerciali		
		Beni culturali	1	7.5
		Aree naturali e protette di interesse rilevante		
		Altre strutture di interesse pubblico (es. depur.)		
		Nessun bene a rischio grave o NO stima	0	0
Tempo di ritorno alluvioni	30	$0 < TR \leq 50$	4	30
		$50 < TR \leq 100$	3	22.5
		$100 < TR \leq 200$	2	15
		$TR > 200$	1	7.5
Pericolosità valanghe	30	Pericolosità elevata o molto elevata	2	30
		Pericolosità media o moderata	1	15
L spiaggia res. prospiciente i beni esposti nei tratti a progr. arretr. negli ultimi 50 a (er. cost.-m)	30	$L \leq 10$	4	30
		$10 < L \leq 20$	3	22.5
		$20 < L \leq 40$	2	15
		$L > 40$	1	7.5
Tempo di ritorno mareggiate (inondazioni marine)	30	$0 < TR \leq 50$	4	30
		$50 < TR \leq 100$	3	22.5
		$100 < TR \leq 200$	2	15
		$TR > 200$	1	7.5
Velocità di movimento (frane)	30	Rapida	2	30
		Lenta	1	15
Quantificazione del danno economico atteso	10	Sì	1	10
		NO	0	0
Riduzione percentuale del numero di persone a rischio (valore calcolato come rapporto tra valori stimati ante e post operam)	30	$80 \leq \% \leq 100$	5	30
		$60 \leq \% < 80$	4	24
		$40 \leq \% < 60$	3	18
		$20 \leq \% < 40$	2	12
		$0 < \% < 20$	1	6
		0 (no stima)	0	0
Misure di compensazione e mitigazione	5	Sì	1	5
		NO	0	0
Attuazione misura di piano (PAI, PGR o assimilabili)	30	Attua interamente	2	30
		Attua in parte	1	15
		Non attua	0	0

Tabella 21: Classi di priorità adottate nel MCA.

Classe di priorità	Punteggio
Molto elevata	$170 < P \leq 215$
Elevata	$125 < P \leq 170$
Intermedia	$80 < P \leq 125$
Moderata	$35 < P \leq 80$
Bassa	$0 < P \leq 35$

Tabella 22: Indicatore alternativo da utilizzare.

Criterio	Peso	Classe	Punteggio	Valore pesato
Riduzione percentuale del danno	40	$80 \leq \% \leq 100$	5	40
		$60 \leq \% < 80$	4	32
		$40 \leq \% < 60$	3	24
		$20 \leq \% < 40$	2	16
		$0 < \% < 20$	1	8
		0 (no stima)	0	0

8 Bibliografia

- AA.VV. (2003) «Best practices on flood prevention, protection and mitigation», presented to Water Directors of the European Union, Athens
- APAT (2003)«Atlante Delle Opere Di Sistemazione Fluviale», A cura di D. Ligato et al. Rome: Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi Tecnici.
- Aulitzky, H. (1980)«Preliminary two-fold classification of torrents», in *Interpraevent*, pagg. 285–310.
- Australian Rainfall and Runoff (2011)«Project n. 10 “Appropriate Safety Criteria for Vehicles – Literature Review”»
- Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione (2008) «CNR-ISMAR di Venezia, APAT Servizio Laguna di Venezia per una ricerca avente come oggetto un’indagine sull’assetto morfologico delle coste»
- Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione (2012) «Progetto di piano stralcio per l’assetto idrogeologico dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione», Comitato Istituzionale del 9 novembre 2012
- Autorità di bacino del fiume Po (2011)«Relazione tecnica del Progetto esecutivo delle attività per la redazione di mappe della pericolosità e del rischio di alluvione. All. 6.4 Mappatura della pericolosità nelle aree costiere marine della Regione Emilia-Romagna ricadenti nel distretto padano».
- Balbi S., Giupponi C., Gain A. , Mojtahed V. , Gallina V. , Torresan S. , Marcomini A. (2012) «The KULTURisk Framework (KR-FWK): A conceptual framework for comprehensive assessment of risk prevention measures». Deliverable 1.6. KULTURisk Project 265280
- Bathurst, J., Burton, A. e Ward, T. (1997) «Debris Flow Run-Out and Landslide Sediment Delivery Model Tests», *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 123. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1997)123:5(410).
- Benda, L. E. (1985) «Behavior and effect of debris flows on streams in the Oregon Coast Range». In: *Delineation of Landslides, Flash Floods, and Debris Flow Hazards in Utah*, pagg. 153–163.
- Bernard, M. et al. (2019) «Model-based approach for design and performance evaluation of works controlling stony debris flows with an application to a case study at Rovina di Cancia (Venetian Dolomites, Northeast Italy). *Science of the Total Environment*. 688, pagg. 1373–1388. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.468.
- Berti, M. et al.(2000) «Debris Flow Monitoring in the Acquabona Watershed on the Dolomites (Italian Alps)», *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 25(9), pagg. 707–715.
- Berti, M. e Simoni, A. (2005) «Experimental evidences and numerical modelling of debris flow initiated by channel runoff», *Landslides*, 2(3), pagg. 171–182. doi: 10.1007/s10346-005-0062-4.
- Bertrand, M., Liébault, F. e Piégay, H. (2013) «Debris-flow susceptibility of upland catchments», *Natural Hazards*, 67(2), pagg. 497–511. doi: 10.1007/s11069-013-0575-4.
- Boni, M., Zanetti, S., Marani, M., Rinaldo, A. (2008) «Modello stocastico di precipitazione per il bacino del fiume Cellina-Meduna-Colvera, Relazione finale», *Università degli studi di Padova, Dipartimento IMAGE*
- Boni, M., Zanetti, S., Marani, M., Rinaldo, A. (2008) «Modello stocastico di precipitazione per il bacino del fiume Piave, Relazione finale», *Università degli studi di Padova, Dipartimento IMAGE*
- Bunte, K. e Abt, S. R. (2001) *Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport , Hydraulics , and Streambed Monitoring*. doi:

10.1017/CBO9781107415324.004.

Burlando, P., Rosso, R., (1991) «Statistical models for design storm prediction», *Modelli idrologici superficiali nella pianificazione di bacino*, U. Maione, Città Studi, Milano, 367-421

Burlando, P., Rosso, R., (1996) «Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation», *Journal of Hydrology*, doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03086-7

Cavalli, M. *et al.* (2015) «Attività di studio sulle conoidi con sviluppo di una metodologia di raccolta dati e loro applicazione su aree test - Relazione finale».

Cesca, M. (2008) «Studio dei meccanismi di deposizione dei debris flow : integrazioni tra esperienze di laboratorio, analisi di campo e modellazioni numeriche». Università degli Studi di Padova.

Chow, V. Te, Maidment, D. R. e Mays, L. W. (1988) *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Company

Citeau, J.M., (2003), «A New Control Concept in the Oise Catchment Area. Definition and Assessment of Flood Compatible Agricultural Activities», FIG working week, Paris, France, 2003

Clausen, L. & Clark, P.B. (1990), «The development of criteria for predicting dambreak flood damages using modelling of historical dam failures», In: International Conference on River Flood Hydraulics, edited by W. R. White. 17. - 20. September, 1990. John Wiley & Sons Ltd. Hydraulics Research Limited, 1990. pp. 369-380

Cosby, B.J., Hornberger, G.M., Clapp, R.B., Ginn, T.R., (1984) «A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils», *Water resources research*

Costa, J. E. (1984) «Physical Geomorphology of Debris Flows. Developments and applications of Geomorphology.», in Costa, J. E. e Fleisher, P. J. (a c. di). Berlin - Heidelberg: Springer-Verlag, pagg. 268–317.

D'Agostino, V., Cesca, M. e Marchi, L. (2010) «Field and laboratory investigations of runout distances of debris flows in the Dolomites (Eastern Italian Alps)», *Geomorphology*. Elsevier B.V., 115(3–4), pagg. 294–304. doi: 10.1016/j.geomorph.2009.06.032.

DEFRA & Environment Agency (2006), «Flood and Coastal Defence R&D Program: Flood Risk to People» , Phase 2, FD2321/TR2 Guidance Document. 2006

De Smedt, F.H., Liu, Y.B., Gebremeskel, S., (2000) «Hydrologic modeling on a catchment scale using GIS and remote sensed land use information», *Risk Analysis II*, C.A., Brebbia, WIT press, Southampton, Boston, pp. 295-304

Dingman, S.L., (2002) «Physical hydrology», 2nd Edition, Prentice Hall, p. 646

Döring, M. *et al.* (2017) «Dinamica dei sedimenti e misurazione dei suoi effetti», in *Dinamica dei sedimenti e degli habitat*. Berna: Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), pagg. 1–12.

Ferri, M., Norbiato, D., Monego, M., Galli, A., Gualdi, S., Bucchignani, E., Baruffi, F., (2010) «Impact of climate change on hydrological regimes and water resources in TRUST (Life+ 2007) project», *Hydropredict 2010 Proceedings*, Praga

Ferri, M., Wehn, U., See, L., Monego, M., Fritz, S., (in press) «The Value of Citizen Science for Flood Risk Reduction: Cost-benefit Analysis of a Citizen Observatory in the Brenta-Bacchiglione Catchment» *HES (Hydrology and Earth System Sciences - EGU)*, MS No.: hess-2020-332.

Gregoretti, C. *et al.* (2016) «Runoff of small rocky headwater catchments: Field observations and hydrological modeling», *Journal of the American Water Resources Association*, 52, pagg. 8138–8158. doi: 10.1002/2016WR018675.

Gregoretti, C. *et al.* (2018) «The debris flow occurred at ru secco creek, venetian dolomites, on 4 august

2015: Analysis of the phenomenon, its characteristics and reproduction by models», *Frontiers in Earth Science*, 6(November), pagg. 1–20. doi: 10.3389/feart.2018.00080.

Gregoretti, C. *et al.* (2019) «Relevance of erosion processes when modelling in-channel gravel debris flows for efficient hazard assessment», *Journal of Hydrology*. Elsevier, 568(September 2018), pagg. 575–591. doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.10.001.

Gregoretti, C. e Bernard, M. (2019) «Determinazione degli idrogrammi solido-liquidi corrispondenti alla modellazione idrologica. Elaborato E04 relativo alla determina del Dirigente del Settore Tecnico n. 365 del 20/03/2019 della Provincia di Belluno.»

Gregoretti, C. e Dalla Fontana, G. (2008) «The triggering of debris flow due to channel-bed failure in some alpine headwater basins of the Dolomites: analyses of critical runoff», *Hydrological Processes*, 22(October 2007), pagg. 2248–2263. doi: 10.1002/hyp.6821.

Gualdi, S. *et al.* (2010) «Climate change projection in the Mediterranean Region as obtained from a global AOGCM coupled with an interactive high-resolution model of the Mediterranean Sea». Available at: <http://hdl.handle.net/2122/6329>.

Gupta, V.K., Waymire, E., Wang, C.T., (1980) «A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology», *Water Resources Research*

Gupta, V.K., Waymire E., (1993)«A statistical analysis of mesoscale rainfall as a random cascade» *Journal of applied meteorology*

Hall, M.J., Zaki, A.F., Shahin M.M.A., (2001) «Regional analysis using geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph», *HESS*

Heinimann, H.R. *et al.*, (1998) «Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren». *Umwelt-Materialien Nr. 85*, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 247 S.

Huizinga, H.J., «Flood damage functions for EU member states». *Technical report*, HKV Consultants. <http://www.hkv.nl>, 2007

Hürlimann, M., Rickenmann, D. e Graf, C. (2003) «Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps», *Canadian Geotechnical Journal*, 40(1), pagg. 161–175. doi: 10.1139/t02-087.

Imaizumi, F. *et al.* (2006) «Hydrogeomorphic processes in a steep debris flow initiation zone», *Geophysical Research Letters*, 33(10), pagg. 2–5. doi: 10.1029/2006GL026250.

IPCC-SREX (2012), «Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation» [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.); Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2012.

Johnson, A. M. e Rodine, J. R. (1984) «Debris flow», in Brunnsden, D. e Prior, D. B. (a c. di) *Slope Instability*. New York: John Wiley & Sons, Ltd, pagg. 257–361.

Kaless, G. (2006) «Il torrente Sarca di Val Genova. Studi morfologici per la prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico». Università di Padova.

Kean, J. *et al.* (2012) «A low-cost method to measure the timing of postfire flash floods and debris flows relative to rainfall», *Water Resources Research*, 48, pagg. 5516-. doi: 10.1029/2011WR011460.

Lai, C.T., Katul, G., (2000) «The dynamic role of root-water uptake in coupling potential to actual transpiration», *Advances in water resources*

Laio, F., Porporato, A., Ridolfi L., Roduiguez-Iturbe, I., (2001), «I. Plants in water-controlled ecosystems: active role in hydrologic processes and response to water stress II: Probabilistic soil moisture dynamics»,

Maijala, T., (2001) «Rescdam: Development of rescue actions based on dam-break flood analysis» , Final Report, Grant agreement no. Subv 99/52623 Community Action Programme in the field of civil protection, Helsinki: Finnish Environment Institute

Marchi, L., Brunetti, M. T., Cavalli, M., Crema, S. (2019) «Debris-flow volumes in northeastern Italy: Relationship with drainage area and size probability.», *Earth Surface Processes and Landforms*, 44: 933–943. <https://doi.org/10.1002/esp.4546>.

Meehl, G. A., Covey, C., Taylor, K.E., Delworth, T., Stouffer, R. J., Latif, M., McAvaney, B., and Mitchell, J. F. (2007), The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 88, 1383–1394, doi:10.1175/BAMS-88-9-1383.

Melton, M. A. (1965) «The Geomorphic and Paleoclimatic Significance of Alluvial Deposits in Southern Arizona», *The Journal of Geology*. The University of Chicago Press, 73(1), pagg. 1–38. Available at: <http://www.jstor.org/stable/30066379>.

Merz B., Hall J., (2010) «Disse M., and Schumann A.: Fluvial flood risk management in a changing world», *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 509–527,

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2019) Circolare 21 gennaio 2019 n.7 " Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".

Mitchell, T., Carter, T., Jones, P., Hulme, M., «A Comprehensive Set of High-Resolution Grids of Monthly Climate for Europe and the Globe: The Observed Record (1901–2000) and 16 Scenarios (2001–2100) », Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 55

Moisello, U., (1999), «Idrologica tecnica», *La Goliardica Pavese*

Nash, J., Sutcliffe. J., (1970), « River flow forecasting through conceptual models. Part I. A discussion of principles», *Journal of hydrology*

Penning-Rowsell, E.C., P. Floyd, D. Ramsbottom, and S. Surendran, (2005), «Estimating Injury and Loss of Life in Floods: A Deterministic Framework», *Natural Hazards* 36:43-64

Piton, G. *et al.* (2017) «Why do we build check dams in Alpine streams? An historical perspective from the French experience», *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(1), pagg. 91–108. doi: 10.1002/esp.3967.

Provincia Autonoma di Trento (2006) Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche, Parte IV, DPR 15/02/2006

Provincia Autonoma di Bolzano (2016) Modifica delle Direttive per la redazione dei Piani delle zone di pericolo secondo la legge urbanistica provinciale, L.P. 11 agosto 1997, n. 13, articolo 22/bis. Deliberazione della Giunta Provinciale n. 989 del 13/09/2016

Provincia Autonoma di Trento (2019) Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità (art.10, comma 5, l.p. 1 luglio 2011, n. 9). Nuovo testo coordinato con le modifiche approvato con deliberazione della Giunta Provinciale n. 1066 del 19/07/2019

Ramsbottom, D., S. Wade, V. Bain, M. Hassan, E. Penning-Rowsell, T. Wilson, A. Fernandez, M. House, and P. Floyd., (2004), «R&D Outputs: Flood Risks to People. Phase 2. FD2321 / IR2», Department for the Environment, Food and Rural Affairs / Environment Agency, London, United Kingdom

Ranzi, R., Barontini, S., Mazzoleni, M., Ferri, M., Bacchi, B., (2012), «Levee breaches and “geotechnical uncertainty” in flood risk mapping», IAHR European Division Congress, Technische Universität München, Munich, 27-28 June 2012

- Regione del Veneto, (2011), «Rapporto Statistico 2011», www.statistica.regione.veneto.it/Pubblicazioni
- Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico, (2012), «Mappatura della pericolosità nelle aree costiere marine della Regione Emilia-Romagna ricadenti nel distretto padano e dell'Appennino Settentrionale»
- Reiter P., (2000), «International methods of Risk Analysis, Damage evaluation and social impact studies concerning Dam-Break accidents» EU-Project RESCDAM. Helsinki PR Water Consulting,
- Rengers, F. K. *et al.* (2016) «Model simulations of flood and debris flow timing in steep catchments after wildfire», *Water Resources Research*, 52, pagg. 1–21. doi: 10.1002/2015WR018176.
- Rinaldi, M. *et al.* (2016) IDRAIM – Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua - Versione aggiornata 2016. ISPRA - Manuali e Linee Guida 131/2016
- Rodriguez-Iturbe, I., Valdes, J.B., (1979), «The geomorphologic structure of hydrological response» *Water resources research*
- Rodriguez-Iturbe, I., Sanabrina, M.G., Bras, R.L., (1982), «A geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph», *Water resources research*
- Rodriguez-Iturbe, Rinaldo, A., (1997), «Fractal river basin», *Cambridge univ. Press*
- Rusmini, M., «Pan-European flood hazard and damage assessment; evaluation of a new If-SAR Digital Terrain Model for flood depth and flood extent calculation». International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, 2009.
- Schwindt, S., Franca, M. J. e Schleiss, A. J. (2017) «Effects of lateral and vertical constrictions on flow in rough steep channels with bedload», *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(12), pagg. 1–12. doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001389.
- SCS (1972), «Hydrology, national engineering handbook, supplement A, Section 4», Soil conservation service, US department of agriculture: Washington DC
- Takahashi, T. (1978) «Mechanical characteristics of debris flow», *ASCE J Hydraul Div*, 104, pagg. 1153–1169.
- Tomasin, P., Pirazzolli, A., (2008), Extreme sea level on the Adriatic coasts: a comparison of estimation methods
- Torresan S., Gallina V., Torresan S., Critto A., Zabeo A., Semenzin E., Marcomini A., (2012), D.1.7. Part A, Development of a risk assessment methodology to estimate risk levels, KULTURisk Project 265280
- Verri, G., Sato, M., De Prato, F., (2008), «Applicazione integrata di metodologie avanzate per la modellazione idrologica dell'onda di piena del torrente Cormor», Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Perugia
- Working Group F, «Workshop on the preparation of Flood Risk Management Plans (FRMP), Observations, Recommendations and Conclusions», Maastricht, 26-27 January 2010
- Zanetti, S., Nicotina L, Settin T., Botter G., Rinaldo A, Marani M. (2008) «Modello stocastico di precipitazione per il bacino del fiume Bacchiglione, Relazione finale», Università degli Studi di Padova, Dipartimento IMAGE
- Zimmermann, M. (1997) Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. vdf, Hochsch.-Verlag an der ETH (NFP 31 Schlussbericht). Available at: <https://books.google.it/books?id=1eRPabUSm04C>.



Allegato IA al Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni

Scheda di rilievo del sistema bacino-conoide (v 2.1)

1 - Anagrafica

Rilevatore E-mail Data gg mm aaaa

ID conoide Nome torrente

Database di riferimento Codice database

Regione Comune Foglio CTR

Bacino di appartenenza Sistema di riferimento

2 - Dati morfometrici della conoide

Superficie (km^2) Quota max (m slm) Quota min (m slm)

Lunghezza (m) Lunghezza alveo (m) Pendenza media alveo ($^\circ$)

X apice (-) Y apice (-)

3 - Dati morfometrici del bacino

Superficie (km^2) Lunghezza alveo principale (km)

Quota massima (m slm) Pendenza media alveo principale ($^\circ$)

Quota minima (m slm) Indice di Melton

4 - Disponibilità di sedimento a monte della conoide

Elevata	Media	Ridotta	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Alveo
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Bacino

5 - Caratteristiche della conoide

Dinamica dell'alveo				Dimensione max del materiale (m)		FOTO
Apice	Media	Distale				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Approfondimento			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Equilibrio	zona mediana	<input type="text"/>	<input type="text"/> 5.2
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Innalzamento	zona distale	<input type="text"/>	<input type="text"/> 5.3
Sono presenti divagazioni dell'alveo e/o vecchi canali?				sì	no	FOTO
				<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> 5.4

6 - Materiale vegetale disponibile per la fluitazione

Canale				Conoide			
Abbondante	Medio	Scarso		Abbondante	Medio	Scarso	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Alveo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Apice
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Sponde	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Mediana
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Entrambi	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Distale



7 - Caratteristiche del canale attivo sulla conoide

		Apice	FOTO	Zona mediana	FOTO	Zona distale	FOTO
Canale	assente		7.1		7.10		7.19
Canale	pensile		7.2		7.11		7.20
Canale	non inciso		7.3		7.12		7.21
Canale	poco inciso		7.4		7.13		7.22
Canale	inciso		7.5		7.14		7.23
Canale	pensile per intervento antropico		7.6		7.15		7.24
Canale	regimato con opere di difesa		7.7		7.16		7.25
Canale	artificiale		7.8		7.17		7.26
Alveo	tombinato		7.9		7.18		7.27

8 - Eventi e studi pregressi

Esistono studi pregressi? sì no

Informazioni relative agli studi	
Studio	Fonte
S1	
S2	
S3	
S4	

Esistono eventi storici? sì no

Evento storico 1

Data gg mm aaaa Fonte ID Evento
 Ubicazione Tipologia del fenomeno Danni registrati: sì no

Evento storico 2

Data gg mm aaaa Fonte ID Evento
 Ubicazione Tipologia del fenomeno Danni registrati: sì no

Evento storico 3

Data gg mm aaaa Fonte ID Evento
 Ubicazione Tipologia del fenomeno Danni registrati: sì no

Evento storico 4

Data gg mm aaaa Fonte ID Evento
 Ubicazione Tipologia del fenomeno Danni registrati: sì no

Evento storico 5

Data gg mm aaaa Fonte ID Evento
 Ubicazione Tipologia del fenomeno Danni registrati: sì no

Evento storico 6

Data gg mm aaaa Fonte ID Evento
 Ubicazione Tipologia del fenomeno Danni registrati: sì no



9 - Opere di difesa

Opera 1

ID opera	<input type="text"/>	Tipologia	- <input type="text"/>	<input type="text"/>	Funzionalità	- <input type="text"/>
Ubicazione	- <input type="text"/>	FOTO	<input type="checkbox"/>	9.1 Note	<input type="text"/>	

Opera 2

ID opera	<input type="text"/>	Tipologia	- <input type="text"/>	<input type="text"/>	Funzionalità	- <input type="text"/>
Ubicazione	- <input type="text"/>	FOTO	<input type="checkbox"/>	9.2 Note	<input type="text"/>	

Opera 3

ID opera	<input type="text"/>	Tipologia	- <input type="text"/>	<input type="text"/>	Funzionalità	- <input type="text"/>
Ubicazione	- <input type="text"/>	FOTO	<input type="checkbox"/>	9.3 Note	<input type="text"/>	

Opera 4

ID opera	<input type="text"/>	Tipologia	- <input type="text"/>	<input type="text"/>	Funzionalità	- <input type="text"/>
Ubicazione	- <input type="text"/>	FOTO	<input type="checkbox"/>	9.4 Note	<input type="text"/>	

Opera 5

ID opera	<input type="text"/>	Tipologia	- <input type="text"/>	<input type="text"/>	Funzionalità	- <input type="text"/>
Ubicazione	- <input type="text"/>	FOTO	<input type="checkbox"/>	9.5 Note	<input type="text"/>	

Opera 6

ID opera	<input type="text"/>	Tipologia	- <input type="text"/>	<input type="text"/>	Funzionalità	- <input type="text"/>
Ubicazione	- <input type="text"/>	FOTO	<input type="checkbox"/>	9.6 Note	<input type="text"/>	

Opera 7

ID opera	<input type="text"/>	Tipologia	- <input type="text"/>	<input type="text"/>	Funzionalità	- <input type="text"/>
Ubicazione	- <input type="text"/>	FOTO	<input type="checkbox"/>	9.7 Note	<input type="text"/>	

Opera 8

ID opera	<input type="text"/>	Tipologia	- <input type="text"/>	<input type="text"/>	Funzionalità	- <input type="text"/>
Ubicazione	- <input type="text"/>	FOTO	<input type="checkbox"/>	9.8 Note	<input type="text"/>	

Opera 9

ID opera	<input type="text"/>	Tipologia	- <input type="text"/>	<input type="text"/>	Funzionalità	- <input type="text"/>
Ubicazione	- <input type="text"/>	FOTO	<input type="checkbox"/>	9.9 Note	<input type="text"/>	

Opera 10

ID opera	<input type="text"/>	Tipologia	- <input type="text"/>	<input type="text"/>	Funzionalità	- <input type="text"/>
Ubicazione	- <input type="text"/>	FOTO	<input type="checkbox"/>	9.10 Note	<input type="text"/>	



10 - Punti critici

Punto critico 1

ID punto critico Tipologia FOTO 10.1
Ubicazione Note

Punto critico 2

ID punto critico Tipologia FOTO 10.2
Ubicazione Note

Punto critico 3

ID punto critico Tipologia FOTO 10.3
Ubicazione Note

Punto critico 4

ID punto critico Tipologia FOTO 10.4
Ubicazione Note

Punto critico 5

ID punto critico Tipologia FOTO 10.5
Ubicazione Note

Punto critico 6

ID punto critico Tipologia FOTO 10.6
Ubicazione Note

Punto critico 7

ID punto critico Tipologia FOTO 10.7
Ubicazione Note

Punto critico 8

ID punto critico Tipologia FOTO 10.8
Ubicazione Note

Punto critico 9

ID punto critico Tipologia FOTO 10.9
Ubicazione Note

Punto critico 10

ID punto critico Tipologia FOTO 10.10
Ubicazione Note



11 - Descrizione dettagliata stato conoide

Accessibilità Area

12 - Tipologia di fenomeno

Tipologia del fenomeno

ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA

Si consiglia l'utilizzo di Adobe® Reader® XI o seguenti per la corretta visualizzazione e compilazione dei campi editabili.

1- ANAGRAFICA

- **Rilevatore** - compilare nome e cognome del/della professionista che redige la scheda.
- **E-mail** - indicare l'indirizzo mail del/della professionista che redige la scheda.
- **Data** - riportare la data del sopralluogo in campo (**Immettere sempre la data in formato gg/mm/aaaa**).
- **ID conoide** - inserire un codice univoco identificativo del sistema bacino-conoide.
- **Nome torrente** - indicare il nome del corso d'acqua analizzato (che genera la conoide).
- **Database di riferimento** - se la conoide o il corso d'acqua è segnalata in un database (esempio: IFFI), indicare il nome del database.
- **Codice database** - inserire il codice utilizzato nel database indicato in **Database di riferimento**
- **Regione** - indicare la regione in cui ricadono bacino e conoide o la maggior parte della superficie degli stessi.
- **Comune** - indicare il comune in cui ricadono bacino e conoide o la maggior parte della superficie degli stessi.
- **Foglio CTR** - indicare l'identificativo del foglio della Carta Tecnica Regionale relativa all'area in questione.
- **Bacino di appartenenza** - selezionare dal menù a discesa l'unità di gestione a cui appartiene il bacino.
- **Sistema di riferimento** - selezionare dal menù a discesa il sistema di riferimento utilizzato per gli allegati cartografici.

2 - DATI MORFOMETRICI DELLA CONOIDE

- **Superficie (km^2)** - indicare l'area totale della conoide, in chilometri quadrati.
- **Quota max (m slm)** - indicare la quota massima della conoide (coincidente con l'apice), in metri.
- **Quota min (m slm)** - indicare la quota minima della conoide, in metri sul livello del mare.
- **Lunghezza (m)** - indicare la lunghezza massima della conoide (distanza orizzontale fra apice e unghia), in metri.
- **Lunghezza alveo (m)** - indicare la lunghezza orizzontale del tratto di corso d'acqua che insiste sulla conoide, in metri.
- **Pendenza media alveo ($^\circ$)** - indicare la pendenza media del tratto di corso d'acqua che insiste sulla conoide, in gradi.
- **X apice (-)** - indicare l'ascissa (latitudine) dell'apice della conoide.
- **Y apice (-)** - indicare l'ordinata (longitudine) dell'apice della conoide.

Si ricorda che dovrà essere fornito, contestualmente alla consegna della scheda, uno shapefile riportante l'ubicazione dell'apice della conoide e dei punti di innesco .

3 - DATI MORFOMETRICI DEL BACINO

- **Superficie (km^2)** - indicare la superficie totale del bacino in chilometri quadrati. Ai fini di una maggior precisione nel calcolo automatico dell'indice di Melton, riportare almeno due decimali.
- **Lunghezza alveo principale (km)** - indicare la lunghezza del canale principale a monte dell'apice della conoide, in chilometri, come riportato da cartografia ufficiale e/o eventuale base dati aggiuntiva.
- **Quota massima (m)** - indicare la quota massima del bacino, in metri sul livello del mare.
- **Pendenza media alveo principale ($^\circ$)** - indicare la pendenza media, del canale principale a monte dell'apice della conoide, in gradi.
- **Quota minima (m)** - indicare la quota minima del bacino, in metri sul livello del mare.
- **Indice di Melton** - calcolo automatico dell'indice di Melton sul bacino, dato dal rapporto tra la differenza di quota massima e minima del bacino, espresse in chilometri, e la radice quadrata dell'area del bacino espressa in chilometri quadrati $Mel = \left(\frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}} \right)$.

4 - DISPONIBILITÀ DI SEDIMENTO A MONTE DELLA CONOIDE

- Compilare la tabella selezionando il grado di disponibilità del sedimento rappresentativo per l'alveo e per il bacino.

5 - CARATTERISTICHE DELLA CONOIDE

- **Dinamica dell'alveo** - selezionare il processo prevalente fra i tre proposti (approfondimento, equilibrio, innalzamento) per la parte apicale, mediana e distale della conoide (fare riferimento alla dinamica dominante/rappresentativa del tratto).
- **Dimensione max del materiale (m)** - indicare la dimensione massima del materiale, nella zona apicale, mediana e distale della conoide. Nel caso si alleghino foto, selezionare il campo FOTO e **nominare le foto col numero riportato a fianco della categoria di riferimento** (es: 5_1.jpg, se più foto dello stesso punto 5_1_1.jpg, 5_1_2.jpg, ecc...).
- **Sono presenti divagazioni dell'alveo e/o vecchi canali?** - selezionare il campo corrispondente alla situazione della conoide e nel caso si alleghino foto, selezionare il campo FOTO e nominare le stesse col numero riportato a fianco della categoria di riferimento (es: 5_4.jpg, se più foto dello stesso punto 5_4_1.jpg, 5_4_2.jpg, ecc...).

6 - MATERIALE VEGETALE DISPONIBILE PER LA FLUITAZIONE

- **Canale** - selezionare la quantità indicativa di materiale vegetale disponibile per la fluitazione all'interno delle zone del canale (alveo, sponde, entrambi) indicando se sia abbondante, medio o scarso.
- **Conoide** - selezionare la quantità indicativa di materiale vegetale disponibile per la fluitazione all'interno delle zone della conoide (apice, zona mediana, zona distale) indicando se sia abbondante, medio o scarso.

7 - CARATTERISTICHE DEL CANALE ATTIVO SULLA CONOIDE

- Per **ogni caratteristica** riportata, selezionare la casella se tale caratteristica si manifesta nella zona in esame (apice, zona mediana, zona distale). Nel caso si alleghino foto, selezionare il campo FOTO e **nominare le foto col numero riportato a fianco della categoria di riferimento** (es: 7_1.jpg, nel caso di più foto dello stesso punto 7_1_1.jpg, 7_1_2.jpg, ecc...). Prestare attenzione a non indicare caratteristiche contraddittorie (es: *zona apicale con canale assente ed anche canale inciso*).

8 - EVENTI E STUDI PREGRESSI

- **Esistono studi pregressi?** - indicare se esistono studi pregressi relativi ad eventi avvenuti nell'area di studio.
- **Informazioni relative agli studi** - indicare per ogni studio pregresso la fonte delle informazioni.
- **Esistono eventi storici?** - indicare se esistono eventi storici documentati nell'area di studio.
- **Data** - riportare la data dell'evento (**Immettere sempre la data in formato gg/mm/aaaa**).
- **Fonte** - indicare la fonte delle informazioni.
- **ID Evento** - inserire un codice univoco identificativo dell'evento. Se la fonte dati contiene un codice evento, utilizzare questo codice.
- **Ubicazione** - indicare l'ubicazione dell'evento storico selezionando una tra le possibilità (*bacino, canale e conoide*).
- **Tipologia del fenomeno** - indicare la tipologia del fenomeno desumibile dalle descrizioni esaminate, scegliendo fra le tipologie proposte nel menù a tendina (*geologico, colata, torrentizio*).
- **Danni registrati** - indicare se sono stati registrati danni durante l'evento.

Si ricorda che dovrà essere fornito, contestualmente alla consegna della scheda, uno shapefile riportante l'ubicazione approssimativa degli eventi storici con l'attributo Id evento.

9 - OPERE DI DIFESA

- **ID opera** - numero o codice identificativo dell'opera.
- **Tipologia** - selezionare la tipologia di opera tra quelle proposte (*briglia, briglia filtrante, soglia, cunettone, difesa spondale, argine, piazza di deposito*). Nel caso non sia presente tra quelle proposte selezionare "altro"

e specificare la tipologia nell'apposita casella vuota a fianco.

- **Funzionalità** - selezionare un grado di funzionalità dell'opera fra quelli proposti e/o commentare brevemente lo stato dell'opera nel campo note (*buona, scarsa e assente*).
- **Ubicazione** - indicare l'ubicazione dell'opera selezionando una tra le tre possibilità (*bacino, canale e conoide*).
- Nel caso si allegghino foto, selezionare il campo FOTO e **nominare le foto col numero riportato a fianco della casella** (es: *9_1.jpg*, con più foto dello stesso punto *9_1_1.jpg, 9_1_2.jpg, ecc...*).
- **Note** - descrivere brevemente opera e stato di conservazione/funzionamento (indicare dettagli sulla tipologia generale dell'opera, e.g., *difesa spondale costituita da gabbionata ecc...*).

Si ricorda che dovrà essere fornito, contestualmente alla consegna della scheda, uno shapefile riportante l'ubicazione puntuale della singola opera e l'attributo Id opera.

10 - PUNTI CRITICI

Per punto critico si intende un punto lungo il corso d'acqua che possa generare criticità allo stato attuale o nell'immediato futuro (es: *attraversamento o luce di ponte sottodimensionata/ostruita, rottura d'argine, opera danneggiata, restringimento d'alveo/punto di potenziale avulsione del corso d'acqua*.)

- **ID punto critico** - numero progressivo del punto critico.
- **Tipologia** - selezionare la tipologia di punto critico tra quelle proposte (*ponte o attraversamento, opera danneggiata, restringimento alveo/curva*), nel caso non sia presente tra quelle proposte selezionare "altro" e specificare nell'apposita casella vuota a fianco. Qualora un'opera già inserita nella precedente sezione "opere in conoide" costituisca anche un punto critico, si ripeta l'inserimento in questa sezione e se ne sottolinei la criticità.
- Nel caso si allegghino foto, selezionare il campo FOTO e **nominare le foto col numero riportato a fianco della casella** (es: *10_1.jpg*, se più foto dello stesso punto *10_1_1.jpg, 10_1_2.jpg, ecc...*).
- **Ubicazione** - indicare l'ubicazione del punto critico selezionando una tra le tre possibilità (*bacino, canale e conoide*).
- **Note** - descrivere brevemente in cosa consiste la criticità.

Si ricorda che dovrà essere fornito, contestualmente alla consegna della scheda, uno shapefile riportante l'ubicazione dei punti critici e l'attributo Id punto critico.

11 - DESCRIZIONE DETTAGLIATA STATO CONOIDE

In questa sezione si definisca l'accessibilità dell'area di studio (*elevata, media o scarsa*) e si riportino: (i) la descrizione comprensiva ed estesa dello stato attuale della conoide e (ii) i commenti rilevanti ad illustrazione di quanto è stato riportato schematicamente in scheda.

12 - TIPOLOGIA DI FENOMENO

- **Tipologia di fenomeno** - selezionare la tipologia del fenomeno tra quelle proposte (*geologico, colata, torrentizio*).

Al termine della compilazione della scheda salvare con il seguente nome file:

Provincia_comune_compiler_IDconoide.pdf

esempio: *VI_Arsiero_Professionista_Conoide1.pdf*

Qualora i campi eventi storici e/o opere e/o punti critici non fossero sufficienti per contenere tutte le informazioni reperite, aprire un'altra scheda e completare solo questi ultimi campi mancanti, salvando la scheda con lo stesso nome file ed un successivo numero progressivo, esempio: *VI_Arsiero_Professionista_Conoide1_1.pdf*.