PREVENZIONE E MITIGAZIONE DEI FENOMENI DI DISSESTO IDROGEOLOGICO NEL TERRITORIO ALPINO

Predicting and mitigating hydrogeological risk in the Alpine environment

*V. D'Agostino**

Sommario

Sono trattate le strategie prioritarie di controllo dei fenomeni di instabilità nei bacini alpini evidenziando come i rinnovati strumenti di mitigazione possono essere sempre più mirati a conseguire in modo sostenibile gli obiettivi di protezione del territorio. Poiché l'obiettivo della sostenibilità è fondato su tre pilastri rappresentati da economia, società è ambiente, l'evoluzione delle soluzioni per il controllo del dissesto idrogeolologico è mutata specularmente nel tempo risentendo, con particolare riferimento all'ambito alpino oggetto di analisi, del maggiore valore di beni e del più elevato numero di persone esposte al danno, della mutata sensibilità sociale nella fruizione del territorio (insediamento, produzione, servizi ecologici) e degli oramai comprovati effetti dei cambiamenti climatici.

Summary

The priority strategies to control instability phenomena in alpine catchments are discussed highlighting how modern tools of mitigations can be voted to obtain their protection goals through a sustainable approach. Since the sustainability aim is founded on the three pillars: economy, society and environment, the evolution of the solutions to control floods, erosions, sediment transport and landslides management has changed consequently. This evolution has been affected, particularly in the Alpine space under analysis, both by the greater value of goods and services which are exposed to damages and by the modified social sensitivity to use the land (settlement, production, ecological services) and by the full-blown effects of the climate change. Specific attention is given to the following prevention measures: communication, management of protection forests, climate change, quality of works.

1. Inquadramento territoriale: le Alpi in Italia e in Europa

L'arco Alpino italiano, che si estende per circa 1200 km e occupa un'estensione di circa 52000 km^2, occupa il 18% del più ampio sistema alpino europeo (200.0000 km^2). Questo sistema è condiviso, oltre che dall'Italia, da altre 5 nazioni: Svizzera con il 78% del territorio; Austria con il 70%; Slovenia con il

* Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova.

© *Edibios*

30%; Francia con il 9%; Germania con il 2%. In un contesto di assoluto rilievo e qualità dal punto di vista naturalistico per tutti i paesi alpini appena menzionati, le Alpi italiane si distinguono ulteriormente per una realtà di eccellenza. Nel giugno 2009 le Dolomiti (2311,7 km^2 ripartiti in "Core areas" ed in aree tampone) sono state inserite da UNESCO nella lista dei siti Patrimonio mondiale dell'umanità. I principali criteri di riconoscimento di questo Patrimonio risiedono nel loro valore geologico e paesaggistico ("geomorfodiversità", Panizza, 2011) i cui criteri di gestione, se portati a compimento, potrebbero rappresentare un esempio virtuoso per la montagna italiana. La convivenza del pregio ambientale (in tutte le sue componenti) con le esigenze di controllo del rischio idrogeologico pone d'altra parte problematiche di compatibilità abbastanza simili in tutte le aree alpine che ricadono nella Rete Natura 2000 delle Zone Speciali di Conservazione (Direttiva Habitat 92/43/CEE). L'obiettivo ottimale sarebbe quello di coniugare la non incidenza sulla biodiversità con gli obiettivi di sicurezza idraulica, idrogeologica e di gestione delle risorse, ma questo obiettivo porta talora a dei conflitti, poiché l'efficacia della messa in sicurezza può richiedere azioni tempestive che, dal punto di vista tecnico-operativo, rendono non agevole il completo contenimento degli impatti su aree protette. Questa difficoltà traspare anche nella direttiva europea 2007/60 relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni quando essa si confronta con la direttiva in materia di protezione delle acque: "La direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque, introduce l'obbligo di predisporre piani di gestione dei bacini idrografici per tutti i distretti idrografici al fine di realizzare un buono stato ecologico e chimico delle acque e contribuirà a mitigare gli effetti delle alluvioni. La riduzione del rischio di alluvioni non figura, tuttavia, tra gli obiettivi principali di tale direttiva, né questa tiene conto dei futuri mutamenti dei rischi di alluvioni derivanti dai cambiamenti climatici".

Sia il territorio alpino italiano sia la sua intera estensione europea sono accomunati, a livello socio-economico, da due principali peculiarità:

- una discreta ricchezza complessiva; la macroarea "Arco Alpino" di Europa 2000 è seconda solo alla macroarea "Capitali Centrali" (Ferlaino, 2002);
- elevate differenze di prosperità fra le varie zone; vi sono forti disparità e potenziali di sviluppo economico disomogenei fra aree urbane e/o interessate da alto flusso di turismo e molte valli interne più marginali e meno servite da vie di comunicazione. Solo per fare un esempio, che prende come riferimento il turismo invernale che rappresenta una forte attività di traino economico per diverse valli alpine, località che sono interessate da circuiti sciistici importanti e molto organizzati come Cervinia (Regione Valle d'Aosta), Livigno (Regione Lombardia), Madonna di Campiglio (Regione Trentino Alto Adige), Cortina (Regione del Veneto) posseggono impianti di risalita con una capacità di elevazione compresa fra i 10 e i 15 milioni di persone per ora per metro di dislivello (Bartaletti, 2002), valori che sono circa 5 volte più elevati rispetto ai

comprensori sciistici più isolati (un discorso analogo si potrebbe formulare sulla capacità ricettiva o sulle seconde case ad uso turistico).

Le disomogeneità socio-economiche si ripercuotono sulle risorse impiegate dai vari enti con competenze di difesa del territorio (Comuni, Regioni, Province, Servizi Forestali, Servizi geologici, etc...) per due ordini di motivi: la disponibilità delle risorse è dipendente dal numero dei residenti (con profonde differenze fra Regioni a statuto speciale e Regioni a statuto ordinario); in un'area territoriale dove le forzanti climatiche (afflussi) e le caratteristiche del rilievo orografico (pendenze, dislivelli) rientrano in un intervallo di variabilità abbastanza contenuto il livello di rischio - composizione del valore degli elementi esposti, della loro vulnerabilità e delle variabili fisiche che esprimono l'intensità del pericolo - è fortemente condizionato dal valore dei beni esposti. In una parola, appare assai più giustificato investire risorse dove vi è la coesistenza di elementi esposti da proteggere, piuttosto che dove vi sono beni isolati o con scarso valore aggiunto. È questo un paradosso della difesa idrogeologica, la quale, invece di premiare le scelte di pianificazione territoriale oculata (incentivi all'agricoltura di montagna, ai boschi di protezione, ai piani di sviluppo urbanistico diluiti nello spazio e nel tempo) e che hanno una funzione preventiva di mitigazione del potenziale pericolo, si trova costretta a proteggere chi, oltre ad avere aumentato l'esposizione al pericolo, ne acuisce anche potenziali intensità e conseguenze. Ciò avviene, per esempio, nel caso di un'urbanizzazione spinta del territorio praticata senza compensare, secondo il principio dell'invarianza della risposta idrologica, la produzione di maggiori deflussi.

In questo lavoro si intende porre l'accento sulle strategie di difesa idrogeologica che appaiano più lungimiranti, ovverossia che intendono mitigare il rischio contando soprattutto su una azione di tipo preventivo. Sull'importanza di questo approccio si ritiene utile richiamare la parte di un discorso del Presidente della Repubblica Giorgio Napolitano (dal discorso della XX giornata del Fondo Ambiente Italiano, 25 Marzo 2012): "C'è davvero anche una questione di difesa della vita dei cittadini, delle popolazioni nelle zone a rischio di dissesto idrogeologico o anche a rischio sismico. (omissis). Noi dobbiamo riuscire a prevenire, e prevenendo spendiamo non solo meglio ma spendiamo meno di quanto poi ci tocca necessariamente, inevitabilmente spendere per riparare i danni prodotti da disastri che potevamo prevenire e non abbiamo saputo prevenire, e che, purtroppo, costituiscono un pericolo crescente per via di un cambiamento climatico che provoca fenomeni sempre più violenti e sempre più frequenti come le alluvioni e le frane".

In merito alla possibilità di lavorare con una strategia di tipo preventivo-attivo, l'Italia è poi il solo fra i paesi europei che fa riferimento esplicito nella sua carta costituzionale alla "montagna". L'art.44 della costituzione (G.U. 27/12/1947, n.298) stabilisce infatti: "Al fine di conseguire il razionale sfruttamento del suolo e di stabilire equi rapporti sociali, la legge impone obblighi e vincoli alla proprietà terriera privata, fissa limiti alla sua estensione secondo le regioni e le zone agrarie, promuove ed impone la bonifica delle terre, la trasformazione del latifondo e la ricostituzione delle unità produttive; aiuta la piccola

e la media proprietà. La legge dispone provvedimenti a favore delle zone montane." In pratica viene messa in discussione l'intangibilità della proprietà privata a favore della sua funzione sociale per la quale la legge predispone programmi e controlli opportuni (Pegoraro, 2011) fra cui anche, ovviamente, la difesa del suolo (L.183/1989).

2. Mitigare in modo preventivo: le priorità

Nel campo della difesa idrogeologica mettere in atto una strategia di protezione, che faccia leva al massimo grado su di una difesa di tipo attivo, richiede di poter rispondere preventivamente a tre quesiti:

- in quali aree del bacino sono attesi i fenomeni/pericoli di dissesto idrogeologico?
- Con che intensità questi fenomeni possono manifestarsi ed avere conseguenze?
- È tecnicamente realizzabile un intervento di difesa preventiva?

Nel concreto, non è possibile mettere in atto una strategia di difesa preventiva se questa non è mirata, cioè se non si prevede correttamente quali sono i fenomeni/pericoli attesi e in quale misura ci si vuole difendere da essi.

Il 'mitigare prevedendo' ha a disposizione molte azioni possibili, che possono essere sia di tipo puntuale sia avere un carattere più trasversale in grado di rendere ancor più incisivo il risultato. Calando l'obiettivo di 'mitigare prevedendo' nella realtà del territorio alpino si sono individuate come prioritarie, nel nostro momento storico, le quattro azioni preventive elencate di seguito.

1) Comunicare pericoli presenti e rischi residui alla popolazione ed intervenire comunicando.
2) Incentivare il ricorso ad una selvicoltura di protezione.
3) Valutare gli effetti dei cambiamenti climatici.
4) Migliorare la qualità tecnica degli interventi.

Queste quattro azioni costituiscono anche i presupposti per operare in maniera sostenibile, ovverossia conseguire simultaneamente al massimo grado possibile: economicità degli interventi, benefici per la società, rispetto per lo specifico ambiente nel quale si opera, aspetto quest'ultimo che non si riferisce al solo ambito ecologico, ma coinvolge anche il contesto culturale alpino (ad esempio l'utilizzo di determinati materiali o modalità costruttive tipiche della valle). Le quattro azioni non sono da distinguersi in modo troppo rigido, ma devono tenere conto sia delle limitazioni sia delle sinergie che possono nascere dalla loro reciproca integrazione.

2.1 Comunicazione

Nell'ampio tema delle sistemazioni montane o, con definizione più corretta, delle sistemazioni idraulico forestali, la comunicazione deve agire con diverse finalità e in diversi momenti temporali.

Il comunicare il pericolo attuale che sussiste in un'area territoriale come conseguenza dell'appartenenza ad un bacino idrografico con precise caratteristiche è il primo passaggio da mettere in atto. Poiché la comunicazione deve risultare diretta, semplice e chiara è consigliabile evitare termini troppo tecnici, privilegiando ogni esempio concreto che comprovi l'esistenza di criticità e la mancanza di sicurezza territoriale. La comunicazione più efficace è il riferimento sia ad eventi di piena significativi del recente passato, sia ad eventi estremi che risultano dalle fonti storiche e che hanno avuto delle conseguenze direttamente imputabili al problema idrogeologico specifico che ci si accinge a controllare e gestire (D'Agostino, 2012). Molto spesso l'esistenza stessa di antiche opere di sistemazione idraulica (briglie di consolidamento, massicci muri di difesa in conoide) può essere portata ad esempio come testimonianza della estrema dinamicità e pericolosità del bacino idrografico (Fig. 1). Un grosso aiuto dal punto di vista della comunicazione è anche assicurato dall'esistenza di un catasto opere aggiornato e dal ricorso sistematico a squadre di rilevatori post-evento, che alimentano archivi informatici ricchi di fotografie e corredati da dati interpretativi sul tipo di fenomeno, le cause principali, le grandezze fisiche caratteristiche, nonché sui danni prodotti al territorio ed alla comunità (D'Agostino, 2012). Se la comunicazione del pericolo attuale è condotta in modo corretto (ad esempio prevedendo pannelli illustrativi in sito ancor prima dell'avvio del cantiere), essa risulta funzionale a rendere più agevole i due passaggi successivi dell'approccio comunicativo: i) la spiegazione sulla necessità di accettare qualche impatto paesaggistico ed ambientale dovuto alle opere di sistemazione idraulico forestale che sono in progetto (per le quali si dovrebbe anche mettere in luce che non vi sono alternative tecnicamente così valide); ii) la progressiva maturazione nella collettività della consapevolezza sulla effettiva capacità di mitigazione del pericolo che è da attendersi dalle opere eseguite. In pratica è essenziale che il rischio residuo conseguente o ad un evento con tempo di ritorno superiore al tempo di ritorno scelto per l'evento di progetto e/o alla concorrenza di una catena di eventi tale da ridurre la funzionalità e stabilità dell'intervento stesso sia reso pubblico in modo esplicito (ad esempio indicendo dei forum di presentazione).

Fig. 1 - *Esempio di antica opera longitudinale a difesa di un conoide a San Martino di Casies (affluente in sinistra idrografica del rio Casies, Bolzano)*

La comunicazione del rischio residuo è inoltre una delle fase centrali della 'preparazione', che insieme alla 'prevenzione' ed alla 'protezione', è prescritta dalla normativa sul rischio alluvioni e dalla legge nazionale che la recepisce (D.L. 23/02/2010, n.49).

Pur non entrando nei dettagli delle tecniche comunicative, che sono in forte progresso ed espansione, un aspetto è da tenere in particolare considerazione, ovverossia un'accurata analisi dei portatori di interesse cui orientare la comunicazione. Avviene infatti, sempre più frequentemente, che non solo la popolazione locale debba essere oggetto della campagna di comunicazione, ma anche tutti coloro che direttamente o indirettamente potrebbero percepire l'intervento come un disturbo temporaneo o permanente. In molti corsi d'acqua alpini, poiché sono ubicati in ambiti di particolare qualità ambientale e al contempo facilmente accessibili o relativamente prossimi a città, usuali portatori di interesse possono essere: concessionari di derivazioni idriche, pescatori, sportivi (canoa, rafting, torrentismo, etc...), escursionisti esperti, turisti, fruitori ricorrenti a vario titolo del corso d'acqua (non residenti nell'area ma che possono rapidamente raggiungerla dalla loro dimora abituale), associazioni che si occupano di difesa ambientale, giornalisti, ricercatori.

In genere la comunicazione rivolta ai residenti locali risulta molto più agevole di quella relativa ai portatori di interesse esterni. I primi, per esperienza personale o trasmessa da congiunti o altri residenti, colgono quasi subito l'opportunità di innalzare il livello di protezione, i secondi, che apprezzano il corso d'acqua e il bacino idrografico per come lo conoscono e in uno stato identificato come naturale, possono risultare più critici e meno propensi ad accettare modifiche allo stato dei luoghi.

2.2 Selvicoltura di protezione

La componente di protezione estensiva dai dissesti assicurata dalla presenza del bosco che agisce di concerto con le opere idrauliche è il presupposto stesso della disciplina delle sistemazioni idraulico forestali. Nei primi decenni del 1900 la pressione antropica sul territorio forestale era profondamente più intensa rispetto a quella attuale e la legge Serpieri (R.D.L. 30/12/1923, n.3267) sul riordinamento della legislazione in tema di boschi e di terreni montani istituiva l'importante principio del vincolo per scopi idrogeologici per controllare utilizzazioni improprie in grado di compromettere la stabilità dei suoli e il regime delle acque. Il moderno concetto di vincolo idrogeologico deve abbracciare nella realtà sia la funzione di protezione 'diffusa' di controllo della risposta idrologica di bacino e dell'erosione superficiale o incanalata sia la funzione 'specifica' nei confronti dei fenomeni gravitativi più comuni che avvengono in ambito alpino: caduta massi, valanghe, colate detritiche, franamenti superficiali. È però di fondamentale importanza che la stima degli effetti della foresta evolva sempre più da un approccio qualitativo ad uno quantitativo. Solo in questo modo la gestione di una foresta orientata alla protezione può configurarsi come vera ingegneria forestale in grado di esplicitare fino a quale intensità le forzanti esterne (sollecitazioni indotte da deflussi liquidi e solidi, azioni del vento, tensioni sulle

radici causate da instabilità del pendio, urti dei massi sui tronchi, spinte dello strato nevoso) possano essere sopportate e, quindi, controllate. Sulla azione 'diffusa' di protezione dall'erosione superficiale e incanalata i dati sperimentali sui quali è basata l'equazione universale per la stima della perdita media annua di suolo (USLE) rappresentano una pietra miliare (Wischmeier e Smith, 1978). In questa formula moltiplicativa compare infatti il fattore colturale, il cui valore per la parcella sperimentale di suolo nudo lavorato a ritocchino è unitario. Questo fattore si riduce approssimativamente, e con esso la perdita di suolo annua per erosione diffusa e incanalata (interrill e rill erosion), ad 1/20 in presenza di terreno coperto di cespugli, ad 1/300 per una foresta con una copertura minima di almeno il 50% con una lettiera che interessa circa l'80% della superficie del sottobosco, fino ad arrivare ad 1/2000 per coperture forestali e lettiere che coprono praticamente l'intera superficie (Wischmeier e Smith, 1978; Dissmeyer e Foster, 1981). La conclamata azione regimante della foresta nei confronti delle piene è stata oggetto di una relazione magistrale di Susmel (1968), tenutasi all'Accademia nazionale dei Lincei, esattamente un anno dopo la tremenda alluvione del 1966, in un convegno intitolato con lungimiranza: "Le scienze della natura di fronte agli eventi idrogeologici". In tempi più recenti il messaggio lanciato dal prof. Susmel, che sottolineava l'importanza di coniugare una gestione ecologica della foresta con i risultati tangibili provati dalle ricerche in idrologia forestale, sembra forse un po' più appannato, privilegiandosi soluzioni sistematorie che vedono dominare la componente idraulica "passiva" su quella forestale attiva (Puglisi, 2012).

Si ritiene che il rafforzamento delle conoscenze sulla funzione 'specifica' della foresta sarà davvero utile a ridare maggiore dignità tecnica alla selvicoltura di protezione. Ciò sta avvenendo nell'ambito dello Spazio Alpino, anche grazie alle collaborazioni fra Enti territoriali e Centri di ricerca. Si cita, fra i risultati dei vari progetti finanziati dall'Unione Europea, il pregevole manuale "Selvicoltura nelle foreste di protezione" (Interreg III A: "Gestion durable des forests de montagne"), dal quale si riportano (Tabb. 1 e 2) alcuni schemi di pratico utilizzo nella gestione selvicolturale ad indirizzo protettivo (Regione Autonoma Valle d'Aosta e Regione Piemonte, 2006).

Questi schemi tecnici sono il frutto di osservazioni in aree sperimentali e mettono in evidenza come la protezione 'specifica' della foresta può essere mirata, oltre che verso la consolidata difesa attiva dalle valanghe (Benini e D'Agostino, 2011), anche alla difesa attiva e passiva dalle colate detritiche (Tab. 1) e dalla caduta massi (Tab.2). Allo stesso modo, verso una vera ingegneria di tipo forestale, stanno convergendo sia le ricerche che caratterizzano, da un punto di vista anche geotecnico, le modalità di ancoraggio degli apparati radicali della foresta e la loro interazione con gli scivolamenti superficiali del terreno (Styczen e Morgan, 1995) sia le indagini sulle tecniche di ingegneria naturalistica applicate ai versanti (Bischetti e D'Agostino, 2002). Queste ultime possono essere oramai progettate decidendo in che misura innalzare il coefficiente di sicurezza di un pendio dopo avere scelto, ad esempio per le gradonate, l'interdistanza fra le file di talee e la densità delle talee messe a dimora (Bischetti et al., 2005).

Parametri		Esigenze minime	Esigenze ideali
Composizione		compatibilmente con la categoria forestale, su suoli compatti favorire specie pioniere a radicazione profonda; nelle foreste di transizione tendere verso la mescolanza di specie adatte alla stazione più mesofila	
Densità	Piante/ha	poco influente se sono rispettate copertura e apertura: minimo 500 piante/ha	
	Copertura	- zone scivolamento: minimo 40%; - zone innesco: minimo 30%	- zone scivolamento: minimo 60%; - zone innesco: minimo 50%
Struttura	Strati	popolamento pluristratificato con distribuzione spaziale omogenea degli alberi	
	Aperture lungo la direzione di massima pendenza	< 20 m e superficie < 600 m^2 - in presenza di rinnovazione affermata: < 25 m e superficie < 1200 m^2	< 15 m e superficie < 400 m^2 - in presenza di rinnovazione affermata: < 20 m e superficie < 800 m^2
Stabilità	Ancoraggio	evitare alberi con diametro > 48 cm o che possono risultare instabili per azione del vento (considerare orientamento della valle e la sua ventosità).	
		minimo 80% di piante con buona radicazione	minimo 90% di piante con buona radicazione
		consentire la ceduazione di cedui invecchiati dove il carico compromette la stabilità del pendio	

Tab. 1 - *Gestione delle foreste contro i pericoli di colate detritiche e scivolamenti superficiali (modificato da: Regione Autonoma Valle d'Aosta e Regione Piemonte, 2006)*

Volume dei massi (m^3)	Diametro medio dei massi (cm)	Diametro minimo efficace degli alberi (cm)
fino a 0.05	fino a 40	da 12.5 a 20
da 0.05 a 0.2	tra 40 e 60	da 20 a 35
da 0.2 a 5.0	superiore a 60	superiore a 35
Piante abbattute: tronchi a terra disposti obliquamente rispetto alle isoipse; eventuale ancoraggio a ceppaie e alberi stabili; ceppaie tagliate a petto d'uomo ed eventualmente scortecciate per prevenzione fitosanitaria		

Tab. 2 - *Gestione delle foreste contro i pericoli di caduta massi: diametro minimo efficace raccomandato per gli alberi (modificato da: Regione Autonoma Valle d'Aosta e Regione Piemonte, 2006; tabella basata su dati sperimentali CEMAGREF-IRSTEA)*

2.3 Cambiamenti climatici

Le variazioni climatiche a scala globale stanno con molta probabilità portando ad un incremento dei disastri determinato dalle alluvioni. È infatti vero che la numerosità di queste catastrofi causate è in crescita, sia per un innalzato livello qualitativo e quantitativo delle informazioni disponibili sia per lo sviluppo demografico ed economico in atto, tuttavia l'andamento della numerosità delle piene e dei cicloni si distingue nettamente da quello dei terremoti, che pure dovrebbero, almeno in parte, accrescersi a causa degli stessi fattori (Fig. 2).

Secondo diversi modelli climatici, inoltre, l'aumento medio più probabile della temperatura entro il 2100 dovrebbe essere compreso nell'intervallo 1.1-2.9 °C con valori massimi, nel peggiore scenario, pari a 4 °C (UNESCO/UNEP, 2011). A prescindere dalla evoluzione su frequenza e intensità degli eventi di pioggia di tipo convettivo, già il solo trend atteso sulle temperature, che rimane la variazione climatica più certa (IPCC, 2012), determinerà per l'ambiente alpino l'aumento di fenomeni di trasporto solido causato dal crearsi di nuove aree sorgenti di sedimento alla testata dei bacini idrografici. La fusione dei ghiacciai würmiani dopo l'ultima glaciazione è terminata all'incirca 10.000 anni fa ed ha lasciato scoperti ingentissimi depositi morenici frutto dell'erosione glaciale. I depositi morenici, che sono composti da grossi blocchi sparsi entro una abbondantissima matrice di detriti fini facilmente erodibili (Fig. 3), sono influenzati negativamente dall'innalzamento della temperatura in parte perché il ritiro dei ghiacciai o la più breve permanenza della copertura nevosa in quota li rende più vulnerabili all'erosione idrometeorica, in parte perché la scomparsa o l'abbassamento del permafrost, che esercita su di essi una vera azione legante, li rende instabili e apre al loro interno dei veri e propri canaloni torrentizi (Fig. 4). Si ricorda, a questo proposito, un'osservazione molto calzante di Valentini (1912): "Anche l'altitudine e la esposizione, dalle quali in gran parte dipende poi il clima, esercitano una grande influenza sulla degradazione. È provato che la zona estesa 1000 metri immediatamente sotto il limite delle nevi, va soggetta

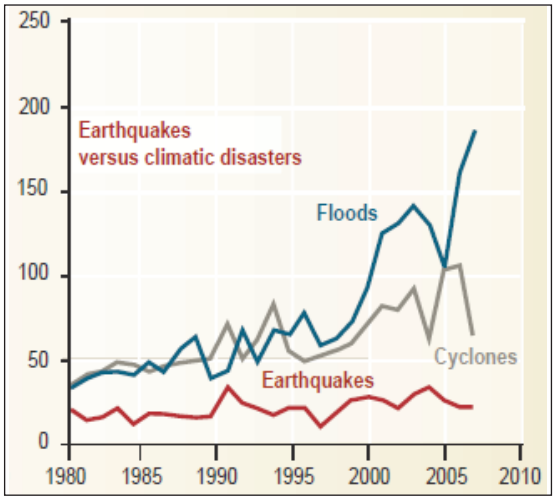

Fig. 2 - *Andamento nel tempo del numero dei disastri riportati a scala mondiale dal 1980 al 2007 (da UNESCO/UNEP, 2011)*

Fig. 3 - *Esempio di crescente disponibilità di sedimenti di origine morenica nelle Dolomiti*

Fig. 4 - *Canale erosivo accresciutosi alla testata di un ripido bacino montano (Klammbach, Valle di Anterselva, Bolzano; quota 2600 m s.m. circa) a causa dello scioglimento di permafrost e che ha concorso alla formazione di un debris flow del volume di circa 100.000 m³ (1 Agosto 2005)*

a una grande rovina, per la disgregazione delle rocce. Infatti in nessuna regione come in quella, mantenuta dai sovrastanti nevai una costante umidità, manca un manto protettore, sia di neve, sia di vegetazione, in nessuna è così frequente il passaggio dal gelo al disgelo. Nessuna meraviglia quindi se in quella zona nascono tanti burroni e tanti torrenti".

Per effetto dell'innalzamento termico e delle maggiori escursioni termiche in alta quota i fenomeni in gioco sono molteplici e contribuiscono ad aggravare e ad innescare fenomeni torrenziali a forte tasso di trasporto solido. Vale la pena richiamare sinteticamente le principali cause che mettono in circolazione nuovi sedimenti: aumento di materiale detritico per crioclastismo accelerato; esposizione di depositi morenici recentemente scoperti; crollo di fronte glaciale; caduta di materiale dal fronte morenico; frana in roccia con coinvolgimento di ghiaccio; svuotamento di lago endoglaciale con conseguente debris flow; svuotamento di lago di sbarramento glaciale; instabilità di rock-glacier; scioglimento del permafrost. Considerando gli interventi di difesa e lo stato di pericolosità di uno specifico bacino alpino, tutti questi fenomeni andrebbero dunque tenuti in debita considerazione, anche in ragione del fatto che, essendo il cambiamento climatico avvenuto in tempi relativamente rapidi, possono mancare informazio-

ni storiche di eventi passati che mettano in evidenza la necessità di mettere mano alle condizioni di possibile dissesto e di mutata sicurezza della popolazione della valle.

Una considerazione meritano infine le evoluzioni climatiche attese in termini di intensificazioni di frequenza delle precipitazioni intense e che potrebbero dare luogo ad una certa estremizzazione delle piene. Su questo aspetto rimane aperta una certa discussione scientifica. A causa di differenti scenari di emissioni di gas serra in molte regioni del globo le proiezioni predicono una maggiore severità delle precipitazioni della durata di 24 ore: i valori che oggi hanno tempi di ritorno di 20 anni potrebbero portarsi in un intervallo di tempi di ritorno di 5-15 anni (IPCC, 2012). Più confidenza vi è invece sulla tendenza ad un incremento delle precipitazioni invernali alle latitudini medie e nordiche dell'Europa e ad un anticipo primaverile delle piene legate alla fusione nivale o alimentate da ghiacciai (IPCC, 2012). Assai pragmatico, su questo tema, appare quanto suggerito dal dipartimento per l'ambiente e l'agricoltura del Regno Unito (DEFRA, 2006). Questo ente consiglia, in attesa di conferme più certe, di eseguire delle analisi di sensitività per vedere come, una volte prese le decisioni progettuali, i cambiamenti climatici cambierebbero queste decisioni oppure implicherebbero differenti strategie temporali di investimento. Se si lavora su bacini con estensione superiore ai 5 km^2, si consiglia di adottare degli incrementi delle portate di picco del 10% per il periodo 1990-2025 e del 20% per il periodo 2025-2115. Per i bacini di piccola estensione è invece preferibile applicare degli incrementi ai valori di intensità al picco delle precipitazioni e precisamente: 5% nel periodo 1990-2025; 10% nel periodo 2025-2055; 20% nel periodo 2055-2085; 30% nel periodo 2085-2115. La verifica di scenari peggiorativi mette evidentemente il progettista di fronte a delle scelte rispetto ad uno scenario che non tiene conto dei mutamenti climatici.

Uno scenario cautelativo imporrebbe di scegliere oggi un sovradimensionamento delle opere tale che, al termine della loro durata funzionale (ad esempio tra 100 anni), la probabilità di rischio per la popolazione sia la medesima di quella che sarebbe consigliabile allo stato attuale (questa opzione è rappresentata a linea tratteggiata in Fig. 5). All'opposto, un approccio completamente non adattativo porta a dimensionare l'opera per le condizioni climatiche attuali, ben sapendo che, con il passare del tempo, la sua probabilità di fallanza continuerà sempre a crescere (linea punteggiata in Fig. 5). Fra questi due estremi, e come terza soluzione che risulta la più appropriata nella maggioranza dei casi, si pone l'approccio adattativo gestito (linea a dente di sega in Fig. 5). Il tenere sotto controllo nel tempo in che misura il rischio di fallanza tollerato si allontana da quello ottimale e il gestire interventi multipli temporalmente frazionati per riportarlo al livello desiderato offrono la possibilità sia di seguire meglio l'incertezza del cambiamento climatico sia di concepire gli interventi in modo più flessibile. In questo modo non si rimane legati solamente ad adeguamenti dimensionali e funzionali dell'opera, ma rimangono aperte anche scelte adattative che aumentano la resilienza del sistema, quali ad esempio le misure selvicolturali che necessitano, per affermarsi, dei tempi della natura anziché di quelli di cantiere.

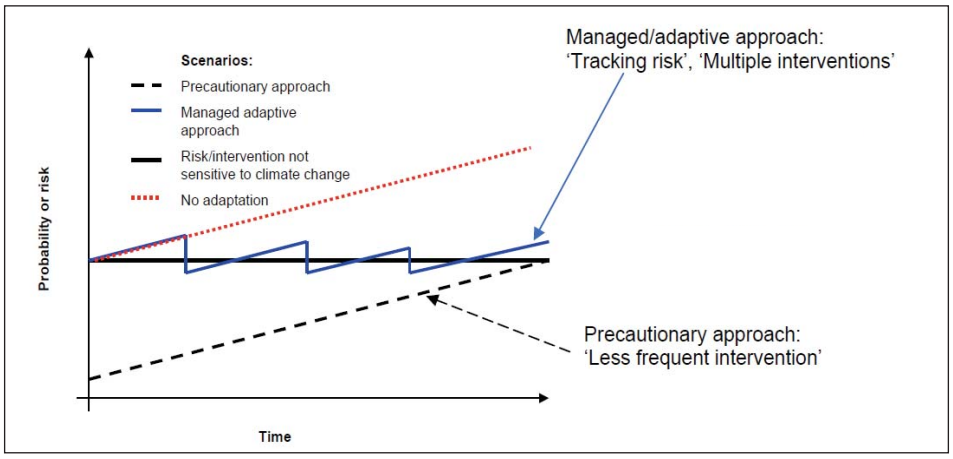

Fig. 5 - *Approcci nei confronti dei possibili incrementi della gravosità delle piene a causa dei cambiamenti climatici: andamento nel tempo della probabilità del rischio di inondazione in funzione delle decisioni intraprese (da DEFRA, 2006)*

Ancor prima che si ponesse il problema del cambiamento climatico, l'approccio adattativo era utilizzato da quanti redigevano i progetti di sistemazione dei tratti di torrente in 'scavo' con briglie di consolidamento a gradinata. Definita una prima pendenza di compensazione relativa al 'periodo delle prime briglie', si rifiniva all'occorrenza l'intervento di consolidamento con il 'periodo delle seconde briglie', che andava a ricucire i tratti sottesi tra due prime briglie dove ancora si manifestava una tendenza all'erosione (Benini, 1990). Il processo adattativo gestito, in ambito di controllo dei fenomeni torrentizi nelle Alpi, potrebbe oggi riguardare i bacini di intercettazione e deposito delle alluvioni solide che sono resi più efficienti dalle briglie di trattenuta di tipo filtrante. Il progettista dovrebbe infatti porsi alcuni interrogativi per rendere gestibile nel tempo la funzione di difesa dell'opera.

- La geometria del filtro è facilmente modificabile nel caso in cui nel bacino idrografico sotteso aumenti la frequenza degli eventi di colata detritica rispetto a quelli di trasporto di fondo o viceversa?
- È stata scelta una posizione della briglia di trattenuta in modo da consentire, se risulterà necessario, la possibilità di realizzare bacini di deposito supplementari a monte dell'area da difendere e che possano lavorare sinergicamente con quello già realizzato?
- Si sono dimensionati idraulicamente briglia e bacino di deposito in modo da permettere, nel caso in cui il bacino di deposito risulti insufficiente per le volumetrie solide oppure il filtro si occluda, che le portate successive all'evento possano agevolmente transitare o quantomeno essere rapidamente messe in condizione di by-passare l'opera? È infatti frequente sulle Alpi, durante il periodo estivo, il ripetersi di temporali nell'arco della stessa giornata o di più giornate successive. D'altra parte la migliorata qualità delle previsioni meteorologiche è in qualche caso di notevole

aiuto per capire in quali zone, già colpite da fenomeni alluvionali, possano ripetersi gli eventi nel volgere di breve tempo. È questa un'informazione preziosa per stabilire scale di priorità temporale nella realizzazione di ripristini, quantomeno parziali, della funzionalità idraulica del reticolo idrografico. Se allora il bacino di deposito si trova, dopo un primo evento, completamente colmo di sedimenti e poco efficiente dal punto di vista idraulico, è assolutamente opportuno poter ripristinare velocemente e con un limitato intervento di mezzi meccanici il transito dei deflussi verso valle (Fig.6).

2.4 Qualità tecnica

Il miglioramento della qualità tecnica degli interventi deve privilegiare, in primo luogo, quelle situazioni che hanno già sofferto, in un passato più o meno recente, i danni più rilevanti e deve inoltre dedicarsi a quelle opere che ricoprono una funzione chiave all'interno dell'impianto sistematorio (talora si tratta di opere anche molto datate che necessitano di manutenzione o rifacimento). Anche a tal fine nella zona alpina si è manifestata sempre con più evidenza l'estrema utilità di una pratica di documentazione eventi che includa una stima

Fig. 6 - *Bacino di deposito sul torrente Weissbach (Bolzano): confronto fra le condizioni ad evento alluvionale appena verificatosi (fotografie in alto) e dopo lo svaso (fotografie in basso) che è stato eseguito nella stessa giornata (5 Agosto 2012)*

economica dei danni diretti ed indiretti subiti dalle opere. Esemplare è, ad esempio, l'attività condotta dalla Ripartizione Opere Idrauliche della Provincia di Bolzano o dal Servizio Bacini Montani di Trento. Essa ha messo in evidenza, anche dal punto di vista statistico, la circostanza, già ampiamente nota ai tecnici, di come il vero nodo nevralgico e punto di debolezza del reticolo idrografico montano sia rappresentato dai tratti di intersezione con le arterie stradali (Fig. 7).

Ponti e tratti di attraversamento tombinati sono, in generale, assai poco compatibili con il trasporto di sedimenti, tanto più se le pezzature del materiale mettono in gioco ciottoli e massi o se il trasporto avviene in massa e/o se al moto dei sedimenti si aggiunge la presa in carico di detrito legnoso. Sono sufficienti quantità anche modeste di fronde, pezzi di tronco o piante sradicate a determinare un immediato effetto ostruente a catena che si conclude, nel migliore dei casi, con una esondazione per rigurgito a monte dell'attraversamento stesso e, nelle situazioni più sfavorevoli, con un collasso dell'ostruzione o della struttura di attraversamento e la generazione di un'onda di "dam-break" che si propaga a valle con effetti estremamente dannosi. Si riportano in tabella 3 alcune indicazioni di massima volte a prevenire i rischi conseguenti alla fluitazione del detrito legnoso e alla congestione delle sezioni che esso determina (Figg. 8 e 9), anche interagendo con i corpi sedimentari presenti nel letto.

Per contrastare la criticità degli attraversamenti, occorre perseguire una strategia complessiva di riduzione in numero e un miglioramento in qualità funzionale delle intersezioni tra reticolo idrografico e strade, adottando, anche a livello normativo, prescrizioni più severe sui franchi idraulici da assumere nel reticolo montano.

Una proposta orientativa, formulata dallo scrivente, è riportata in tabella 4 con l'intento di prevenire le tante situazioni di insufficienza idraulica che si sono verificate a causa dell'avere assunto il classico franco di 1 m, valore che è più consono a regolare l'officiosità idraulica del reticolo fluviale di pianura piuttosto che quello delle aste torrentizie.

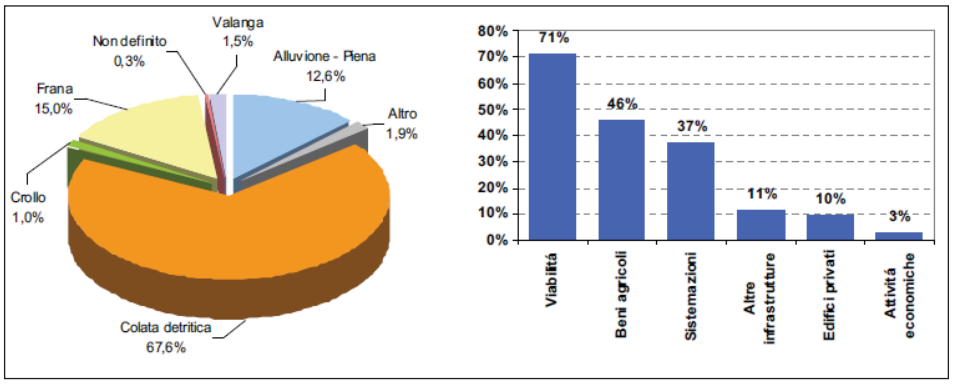

Fig. 7 - *Frequenza delle tipologie di evento 'idrogeologico' e dei beni colpiti nella Provincia di Bolzano nel periodo 1998-2009 (da: Provincia Autonoma di Bolzano, 2009)*

Condizioni di pericolo	Pratica manutentiva consigliata
Pericolo per la pubblica incolumità: - in caso di esondazione e/o congestione-ostruzione con materiale del tratto d'alveo in manutenzione; - in caso di ostruzione di attraversamenti pubblici presenti anche a valle del tratto in manutenzione	Taglio raso degli alberi, degli arbusti e rimozione del detrito legnoso comunque presenti nella sezione bagnata dalla piena con tempo di ritorno di almeno 50 anni (orientativamente 30 anni secondo la normativa **). Rimozione completa della vegetazione arbustiva insediatasi sui corpi sedimentari che si sono formati nell'alveo a seguito di condizioni ostruttive o della presenza di briglie di consolidamento (Fig. 8): la valutazione della sezione d'alveo è da riferire alla topografia del tratto in sede di progettazione delle opere e ricorrendo, se necessario per la sicurezza idraulica, anche all'asportazione dei corpi sedimentari di recente formazione. Rimozione dei corpi sedimentari dove ostruiscono direttamente gavete e luci di attraversamenti (**). Taglio di tutte le piante prive di flessibilità e/o potenzialmente instabili lungo le sponde, incluse le sistemazioni effettuate con tecniche di ingegneria naturalistica. *Il tutto per evitare scabrezza idraulica eccessiva, ostruzioni temporanee locali e/o fenomeni ostruttivi di tipo generalizzato (Fig.9) con tutte le possibili conseguenze sia locali sia a valle che possono determinarsi in corso di evento.*
Assenza di pericolo per la pubblica incolumità in caso di esondazione nel tratto d'alveo in manutenzione, ma possibili conseguenze dannose per la pubblica incolumità nel tratto a valle	Taglio selettivo degli alberi, degli arbusti e rimozione del detrito legnoso nella sezione bagnata dalla piena con tempo di ritorno di almeno 30 anni (**); taglio raso dove la corrente transita con velocità media lungo la verticale > 1.5 m/s. Manutenzione selettiva con diradamento della vegetazione lungo le sponde, incluse le sistemazioni effettuate con tecniche di ingegneria naturalistica. Rimozione completa della vegetazione arbustiva insediatasi nell'alveo attivo sui corpi sedimentari che si sono formati a seguito di condizioni ostruttive o della costruzione di opere di consolidamento. Rimozione dei corpi sedimentari solamente dove ostruiscono direttamente gavete e luci di attraversamenti. *Il tutto per mantenere scabrezza idraulica tollerabile ed evitare ostruzioni temporanee e/o fluitazione del detrito legnoso con le possibili conseguenze che possono crearsi a valle in corso di evento.*
Assenza di pericolo per la pubblica incolumità in caso di esondazione: sia nel tratto d'alveo in manutenzione sia a valle	Libera evoluzione della vegetazione, degli habitat e delle unità morfologiche lungo il corridoio fluviale con controllo periodico delle mutate condizioni di sicurezza a seguito di nuovi insediamenti o attività produttive esposti al pericolo. *È consigliato il monitoraggio di possibili avulsioni e l'esecuzione di azioni manutentive saltuarie ma sufficienti a mantenere: condizioni di scabrezza idraulica accettabili, anche se elevate, ed assenza di pericolo per la pubblica incolumità.*

** D.P.R. 14-04-1993: Atto di indirizzo e coordinamento alle regioni su criteri e modalità di redazione dei programmi di manutenzione idraulica e forestale. "*Le tipologie degli interventi manutentori da effettuarsi nei corsi d'acqua regimati sono le seguenti: ...; b) rimozione di rifiuti solidi e taglio delle alberature, intesi come eliminazione dalle sponde e dagli alvei dei corsi d'acqua dei materiali di rifiuto provenienti da attività antropiche e collocazione a discarica autorizzata; rimozione dalle sponde e dagli alvei attivi delle alberature che sono causa di ostacolo al regolare deflusso delle piene ricorrenti, con periodo di ritorno orientativamente trentennale, sulla base di misurazioni e/o valutazioni di carattere idraulico e idrologico, tenuto conto dell'influenza delle alberature sul regolare deflusso delle acque, nonché delle alberature pregiudizievoli per la difesa e conservazione delle sponde, salvaguardando, ove possibile, la conservazione dei consorzi vegetali che colonizzano in modo permanente gli habitat delle ripe e le zone di deposito alluvionale adiacenti; ... g) rimozione di tronchi d'albero dalle luci di deflusso dei ponti, intesa come ripristino del regolare deflusso sotto le luci dei ponti, con rimozione del materiale di sedime e vario accumulato nei sottopassi stradali, nei tombini, nei sifoni, sulle pile od in altre opere d'arte.*"

Tab. 3 - *Criteri manutentivi per prevenire criticità idrauliche indotte da detrito legnoso e da corpi sedimentari (isole, barre centrali e laterali)*

Fig. 8 - *Situazione esemplificativa (torrente Moggio, Trento) dove è stato successivamente effettuato il taglio raso delle piante in alveo*

Fig. 9 - *Ostruzione totale in corrispondenza ad un attraversamento stradale in località Casale Pignone (La Spezia): immagini dopo la piena che ha colpito le Cinque Terre nell'evento del 25 Ottobre 2011*

Lungo il reticolo idrografico periferico, quale è quello montano, sono poi presenti una miriade di attraversamenti minori, magari non mappati nella cartografia tecnica, ma che rappresentano una vera minaccia in grado di amplificare le conseguenze dannose delle piene. Questi piccoli attraversamenti sono spesso realizzati da privati per accedere a fondi agricoli, edifici rurali, baite, malghe, aree di esbosco e di utilizzazione boschiva. Nella pratica costruttiva tali passaggi sono costruiti posando spezzoni di tubazioni prefabbricate (calcestruzzo, acciaio, lamiere corrugate di vario tipo) sul fondo dell'alveo e ricaricando la calotta superiore del tubo con sedime ben compattato o con un impalcato leggero a fungere da passaggio (Fig. 10). Queste situazioni rappresentano una vera insidia in occasione delle piene torrentizie per una serie di motivi: rispondono assai raramente alle indicazioni tecniche riportate in tabella 4 (in particolare al criterio relativo al rapporto fra dimensione dei sedimenti trasportati e luce minima del tubo); prima della loro occlusione scaricano a valle un flusso ad elevato carico cinetico e quindi fortemente erosivo e destabilizzante; appena si

Condizione di trasporto dei sedimenti	Valore del franco per la portata solida-liquida al picco e prescrizioni complementari in caso di attraversamenti
Trasporto solido di fondo con concentrazione volumetrica superiore al 3%	1.5 m: rispetto all'energia specifica della corrente riferita al fondo; pendenza (i) raccomandata lungo i tratti di attraversamento: $i > 0.56\ (Q_S/Q)^{0.625}$; Q_S: portata solida al colmo; Q: portata liquida al colmo (formula rielaborata dall'equazione di Smart e Jaeggi, 1983); luci libere negli attraversamenti superiori di almeno 2.5 volte la dimensione dei sedimenti più grossolani trasportati dalla corrente
Colate prevalentemente fangose (mud flow)	2.0 m: calcolato con riferimento all'altezza del fronte mediante formule di letteratura che legano altezza del fronte e portata solido-liquida (si veda p.e.: D'Agostino, 2008); pendenza del fondo preferibilmente superiore ai 6° (10%) e luci libere negli attraversamenti superiori di almeno 3 volte la dimensione dei sedimenti più grossolani trasportati dalla colata
Colate prevalentemente detritiche (debris flow)	2.5 m: calcolato con riferimento alla altezza del fronte mediante formule di letteratura (D'Agostino, 2008) che legano altezza del fronte e portata solido-liquida; pendenza del fondo preferibilmente superiore ai 9° (16%) e luci superiori di almeno 3.5 volte la dimensione dei sedimenti più grossolani trasportati

Tab. 4 - *Franchi idraulici consigliati nei torrenti montani (indipendentemente dalla presenza o meno di attraversamenti stradali) e prescrizioni complementari nel caso di intersezioni stradali*

occludono possono dare luogo ad avulsioni del flusso, che si riversano immediatamente sulla sede stradale, oppure a scalzamenti ed erosioni laterali che evolvono in smottamenti di sponda (Fig.10); o ancora possono generare collassi improvvisi delle masse di detriti e legname che si accumulano a tergo. Il collasso in serie di alcuni attraversamenti di questo tipo ha provocato più volte, in zona alpina, l'innesco di trasporti solidi iperconcentrati e di colate detritiche. Gli attraversamenti secondari, infine, possono essere poco noti alle autorità competenti e alla Protezione Civile che, giustamente, concentrano l'attività di presidio e monitoraggio in corso di evento sugli attraversamenti viari censiti e sede di maggiore passaggio. Al di là di una più stringente attività di polizia idraulica, la soluzione tecnica più adeguata a migliorare queste situazioni può essere incentivare l'adozione di guadi e, se questi non sono realizzabili per motivi logistici o topografici, di passerelle che si possano rimuovere preventivamente in caso di preannuncio di criticità idrologica. Le passerelle andrebbero poi costruite in modo da non costituire pericolo quando il loro impalcato si trova ad interferire con la corrente (ad esempio si possono realizzare strutture in legno composte da elementi di dimensioni contenute ed in grado di disconnettersi autonomamente in caso di sollevamento).

Fig. 10 - *Dissesto creato dall'occlusione di un attraversamento stradale: si confronti la dimensione dei sedimenti trasportati con il diametro del tubo (torrente Corinne, Treviso)*

Passando dalle osservazioni sulla qualità tecnica degli attraversamenti stradali, che qui si sono voluti mettere in primo piano, alla qualità tecnica più in generale di tutte le opere di controllo del dissesto idrogeologico in ambito alpino (Fattorelli e D'Agostino, 2008), si ritiene vi siano da mettere in evidenza altri due indirizzi operativi che non debbano essere disattesi:

a) l'estrema vigilanza che é da porsi in sede di direzione lavori per verificare la cura con cui gli interventi sono posti in opera;
b) l'aggiornamento tecnico scientifico dei professionisti sulle nuove possibilità offerte nell'interpretazione dei fenomeni idrogeologici e nell'utilizzo degli strumenti modellistici per prevederli.

La prima necessità (a) discende dal fatto che la lunga tradizione nella pratica delle sistemazioni montane in una larga parte dell'arco alpino (settori centrale e nord-orientale) ha fatto sì che in molte zone sia censita un'elevata densità di interventi di sistemazione, i cui soli costi di manutenzione arrivano ad impegnare anche il 50% del budget annuo (Provincia Autonoma di Trento, 2008). La qualità esecutiva nell'eseguire le nuove opere rappresenta pertanto una garanzia affinché i costi di manutenzione di quanto esistente non finiscano per soverchiare, assorbendo quasi completamente le risorse disponibili, quelli di realizzazione di nuovi interventi. Nei bacini dove vi è già un alta densità di opere di sistemazione, le nuove opere vanno contenute in numero e curate massimamente in termini di qualità progettuale ed esecutiva. Nei bacini ancora non sistemati la cura nel realizzare l'intervento rappresenta l'azione propedeutica più mirata a garantirne una manutenzione sostenibile nel tempo.

Sulla seconda necessità (b) si menzionano i progressi cui stiamo assistendo e che coinvolgono sia la conoscenza di laboratorio e di campo dell'idraulica (Ferro, 2004) e dinamica (Mintegui Aguirre et al., 2006) torrentizia sia l'accoppiamento delle rilevazioni topografiche del terreno ad elevata risoluzione con le rappresentazioni e modellazioni a maglia spaziale sempre più fine (Passalacqua et al., 2010) dei processi idrologici (Beven, 2001), erosivi (Ferro, 2006; Tarolli e

Dalla Fontana, 2009) e di propagazione delle onde di piena e dei fenomeni torrentizi più massivi (Bertoldi et. al., 2012).

3. Nota conclusiva

La necessità di difesa da alluvioni e dissesti nelle Alpi è molto eterogenea e assai dipendente dalle sistemazioni idraulico forestali che sono già presenti nel bacino e dalle condizioni di sviluppo socio-economico delle valle. Soprattutto le soluzioni idrauliche di tipo intensivo hanno fatto registrare notevoli cambiamenti e progressi, che si possono riassumere come segue.

Opere di consolidamento

- Un secolo fa si parlava di torrenti 'estinti' e torrenti con profilo 'non definito' da estinguere e si mirava ad abbattere drasticamente il trasporto solido (ideale dell'acqua chiara); tuttavia si procedeva per pendenze di correzione successive, attendendo, dopo la prima sistemazione, la reazione del sistema prima di intervenire nuovamente. Ora il consolidamento dell'asta tende ad essere più definitivo, ma dovrebbe consentire un sufficiente transito a valle del trasporto solido (D'Agostino, 2010). Si comincia a riconoscere che troppe volte si è scelto un profilo di correzione con pendenza prossima allo zero (anni 1967-1990); ciò, oltre a limitare eccessivamente l'alimentazione solida a valle, può essere addirittura nocivo nei tratti di attraversamento del conoide (possibili esondazioni causate da sovralluvionamento del letto). Si riconosce alla vegetazione autoctona una capacità stabilizzante ed ecologica di lungo periodo da combinare o meno con l'impiego di materiale da costruzione a basso impatto sull'ambiente (legno, massi, pietrame, gabbioni, fibre naturali, geosintetici). Lo studio delle unità morfologiche torrentizie (step pool, riffle pool, rapide) evidenzia una capacità intrinseca di autoregolazione della dinamica d'alveo, che risulta invariante in diversi ambienti e contesti geografici (Vianello et al., 2005). Da questi presupposti si è ampiamente sviluppato e ha preso corpo sul territorio il ricorso alle tecniche di ingegneria naturalistica (Florineth, 2007) ed alla ricostruzione morfologica degli alvei (Lenzi et al., 2000; Provincia Autonoma di Trento, 2008).

Dispositivi di trattenuta

- Un secolo fa le briglie di trattenuta chiuse avevano solo una funzione di difesa temporanea, fino a che la sistemazione 'integrale' del bacino aveva successo (Valentini, 1912). Ora il ricorso sistematico a briglie di trattenuta aperte con funzioni multiple accoppiate o disaccoppiate (frangicolata, bacino intercettazione valanghe, laminazione del trasporto solido di fondo, controllo del detrito legnoso) ha progressivamente accresciuto l'importanza di queste strutture, facendole divenire delle opere che devono assicurare permanentemente la mitigazione del pericolo torrentizio (D'Agostino et al., 2004; D'Agostino, 2010) e che rendono meno impellente la sistemazione integrale del bacino.

Si ritiene che la migliorata efficienza di queste due categorie di intervento dovrà sempre più sforzarsi di tenere conto delle quattro azioni preventive (comunicazione, selvicoltura di protezione, adattamento ai cambiamenti climatici, qualità tecnica), che sono state trattate in questo lavoro. Solo così gli interventi di controllo dei pericoli idrogeologici in ambito alpino non solo potranno essere funzionalmente più duraturi ed efficienti ma, specie se risulteranno più chiari i loro limiti, potranno contribuire più efficacemente a ridurre la vulnerabilità del territorio montano.

Ringraziamenti. Al Prof. Ing. Giuseppe Benini per quanto mi ha insegnato.

Bibliografia

1. Bartaletti F., *Le trasformazioni del turismo montano*, L. Caveri, A. Da Polenza, F. Salvatori, C. Smiraglia (eds.), Montagne d'Italia, Istituto Geografico De Agostini, Novara, 166-179, (2002).
2. Benini G., *Sistemazioni idraulico forestali*, II edizione, 2000, UTET, Torino, (1990).
3. Benini G., D'Agostino V., *Sistemazione dei bacini montani*, P.A. Riva, A. Guadagni (eds.), Manuale dell'Ingegnere civile e ambientale, Sezione H, Idraulica e costruzioni idrauliche, Ulrico Hoepli Editore, Milano, 219-230, (2011).
4. Bertoldi G., D'Agostino V., McArdel B., *An integrated method for debris flow hazard mapping using 2D runout models*, Interpraevent 2012 Proceedings, Grenoble 23-26 April 2012, vol.1, 435-446, (2012).
5. Beven K.J., *Rainfall-runoff modelling: the primer*, John Wiley & Sons, Chichester, (2001).
6. Bischetti G., D'Agostino V., *Sull'utilizzo delle talee nelle sistemazioni di versante*, XXVIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Potenza, 16-19 Settembre 2002, 231-238, (2002).
7. Bischetti G.B., D'Agostino V., Simonato T., *Dimensionamento delle gradonate e loro effetto sulla stabilità dei versanti*, Quaderni di Idronomia Montana, Bios, Cosenza, 22, 185-193, (2005).
8. D'Agostino V., *Dimensionamento delle opere di protezione dalle colate detritiche*, V. Ferro (ed.), Sistemazione dei bacini montani e difesa del suolo, collana Politecna, 9, Nuova Bios, Castrolibero (CS), 605-623, (2008).
9. D'Agostino V., *Filtering-retention check dam design in mountain torrents*, C.G. Conesa, M.A. Lenzi (eds.), Check Dams, Morphological Adjustments and Erosion Control in Torrential Streams, Nova Science Publishers, Hauppage, New York, 185-210, (2010).
10. D'Agostino V., *Assessment of past torrential events through historical sources*, M. Schneuwly-Bollschweiler, M. Stoffel, F. Rudolf-Miklau (eds.), Dating Torrential Processes on Fans and Cones - Methods and their application for hazard and risk assessment, Advances in Global Change Research, Springer, Dordrecht, 47, 131-146, (2012).
11. D'Agostino V., Dalla Fontana G., Ferro V., Milano V., Pagliara S., *Briglie aperte*, cap.5, V. Ferro, G. Dalla Fontana, S. Pagliara, S. Puglisi, P. Scotton (eds.), Opere di sistemazione idraulico-forestale a basso impatto ambientale, McGraw-Hill, Milano, 283-384, (2004).
12. DEFRA-Department for Environment, Food and Rural Affairs, *Flood and Coastal Defence Appraisal Guidance FCDPAG3 Economic Appraisal Supplementary Note to*

Operating Authorities - Climate Change Impacts October 2006, (2006).
13. Dissmeyer G.E., Foster G.R., *Estimating the cover-management factor (C) in the universal soil loss equation for forest conditions*, Journal of Soil and Water Conservation, 36, 235-240, (1981).
14. Fattorelli S., D'Agostino V., *Criteri di intervento per la difesa del territorio nei bacini montani*, Frega G. (ed.), Atti del 28° corso di aggiornamento: Tecniche per la difesa dall'inquinamento, Nuova Bios, Castrolibero (CS), 127-142, (2008).
15. Ferlaino F., *La montagna nella politica comunitaria*, L. Caveri, A. Da Polenza, F. Salvatori, C. Smiraglia (eds.), Montagne d'Italia, Istituto Geografico De Agostini, Novara, 200-205, (2002).
16. Ferro V., *Elementi di idraulica torrentizia*, cap.2, V. Ferro, G. Dalla Fontana, S. Pagliara, S. Puglisi, P. Scotton (eds.), Opere di sistemazione idraulico-forestale a basso impatto ambientale, McGraw-Hill, Milano, 11-134, (2004).
17. Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, Seconda edizione, Mc-Graw-Hill, Milano, (2006).
18. Florineth F., *Piante al posto del cemento - Manuale di Ingegneria naturalistica e verde tecnico,* Il Verde Editoriale, Milano, (2007).
19. IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 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, and New York, NY, USA, (2012).
20. Lenzi M.A., D'Agostino V., Sonda D., *Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti - Criteri metodologici ed esecutivi*, Bios, Cosenza, (2000).
21. Mintegui Aguirre J.Á, Lenzi M.A., Robredo Sánchez J.C., Mao L., *Movilización versus estabilización de los sedimentos en los cursos sometidos a la dinámica torrencial. Analisis de dos casos: el río Cordon (Alpes Dolomitas, Italia) y el arroyo Partido (Parque Nacional de Doñaña, España)*, Organismo Autónomo Parques Nacionales Ministero de Medio Ambiente, Naturaleza y Parques Nacionales serie técnica, (2006).
22. Panizza M., La *geomorfodiversità delle Dolomiti, patrimonio mondiale UNESCO*, B. Aldigheri, B. Testa (eds.), L'armonia fra uomo e natura nelle valli dolomitiche, Atti delle giornate di Studio, 12-13 Novembre 2010, Aracne Editrice, Roma, 9-20, (2011).
23. Passalacqua P., Tarolli P., Foufoula-Georgiou, E., *Testing space-scale methodologies for automatic geomorphic feature extraction from LiDAR in a complex mountainous landscape*, Water Resources Research, 46, W11535, (2010).
24. Provincia Autonoma di Trento, *Bilancio sociale 2007 - La gestione unitaria dei corsi d'acqua*, Assessorato Urbanistica Ambiente e Lavori Pubblici, Dipartimento Risorse Forestali e Montane, (2008).
25. Pegoraro L., *Costituzione della Repubblica Italiana commentata da Lucio Pegoraro*, Editore Anci SA, Rubano (PD), (2011).
26. Provincia Autonoma di Bolzano, *ED30 - Report 2009*, P. Macconi, O. Formaggioni (eds.), Ripartizione 30 - Opere idrauliche - Azienda speciale per la regolazione dei corsi d'acqua e la difesa del suolo, Bolzano, (2009).
27. Puglisi S., *Il secondo debito immenso dell'Italia dopo quello pubblico*, Editoriale, Quaderni di Idronomia Montana, Bios, Cosenza, 30 (questo numero), (2012).
28. Regione Autonoma Valle d'Aosta, Regione Piemonte, *Selvicoltura nelle foreste di protezione - Esperienze e indirizzi gestionali in Piemonte e Valle d'Aosta*, Compagnia delle Foreste, Arezzo, (2006).

29. Smart G.M., Jaeggi M.N.R., *Sediment Transport on Steep Slopes*, Mitt. Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie, ETH, Zürich, 64, (1983).
30. Styczen M.E., Morgan R.P.C., *Engineering properties of vegetation*, R.P.C. Morgan, R.J. Rickson (eds.), Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach, E & FN SPON, London, 5-58, (1995).
31. Susmel L., *Sull'azione regimante ed antierosiva della foresta con un cenno alle vicende storiche del bosco in Italia durante i secoli precedenti*, Accademia Nazionale dei Lincei, Quaderno N. 112, Atti del Convegno: Le scienze della natura di fronte agli eventi idrogeologici, Roma 8-10 Novembre 1967, 299-432, (1968).
32. Tarolli P., Dalla Fontana G., *Hillslope-to-valley transition morphology: new opportunities from high resolution DTMs*, Geomorphology, 113, 47-56, (2009).
33. UNESCO/UNEP, *Climate change starter's Guidebook*, D. McDonalds, T. Mermer (eds.), UNESCO, Paris, (2011).
34. Valentini C., *Sistemazione dei torrenti e dei bacini montani*, Hoepli, Milano, (1912).
35. Vianello A., Bischetti G.B., D'Agostino V., *Sull'invarianza delle morfologie a step pool*, Quaderni di Idronomia Montana, Bios, Cosenza, 25, 175-189, (2005).
36. Wischmeier W.H, Smith D.D., *Predicting rainfall-erosion losses – A guide to conservation planning*, Science and Education Administration United States Department of Agriculture in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station, Agriculture Handbook No. 537, (1978).