



SUOLO

I territorio lombardo è caratterizzato da una molteplicità di aspetti paesaggistici, urbanistici, geologici e climatici, le cui peculiarità ed interrelazioni derivano da una grande complessità - presente anche all'interno di aree relativamente limitate - dovuta alla sovrapposizione di strutture ed infrastrutture sia di origine naturale che antropica.

La complessità e le problematiche si riferiscono alla natura dei suoli e alla loro morfologia, alle trasformazioni e all'utilizzo del territorio, alle pressioni naturali e antropiche, al clima, agli scenari di rischio e ad altri fattori. La vulnerabilità del territorio nei confronti dei fenomeni di natura idrogeologica è la variabile che meglio riflette i legami con la dimensione antropica.

Il suolo è un sistema ecologico altamente sviluppato che sostiene anche funzioni di carattere socio-economico. La pedosfera - cioè il terreno, o strato più superficiale della crosta terrestre - è un mezzo complesso composto dal materiale minerale di base, da sostanze organiche di origine biologica e da organismi viventi nonché da una parte acquosa e da aria, che circolano attraverso i pori. Il suolo non rappresenta perciò un supporto inerte alle attività dell'uomo ma una risorsa non rinnovabile fondamentale per l'equilibrio della biosfera e per la produzione di biomassa. Lo sfruttamento di questa risorsa ha portato oggi ad un suo degrado generalizzato, cui conseguono fenomeni importanti.

Il dissesto idrogeologico, ad esempio, riguarda non solo le aree strutturalmente instabili, ma anche il territorio nel suo insieme, inteso come un sistema dinamico sollecitato da fattori variabili nel tempo: questo fatto e le interrelazioni tra i numerosi fattori in gioco concorrono a rendere complesso e fluido il quadro generale.

È ormai accertato che l'attività antropica, ove non correttamente regolamentata, può avere un'influenza significativa nell'accentuare la pericolosità degli eventi di dissesto e in particolare delle alluvioni. L'aumento delle superfici impermeabilizzate, l'indebita occupazione degli alvei fluviali e lacustri e l'abbandono della cura dei boschi hanno un'incidenza diretta sulla formazione dell'onda di piena, così come la costruzione di strade, abitati e opere civili sono molto spesso la causa sottostante alla formazione di fenomeni franosi. Non è ancora definito quanto il cambiamento climatico pesi nell'incrementare la gravità dei fenomeni idrogeologici estremi.

La Lombardia è una regione particolarmente colpita da questi fenomeni, che provocano danni a strutture e infrastrutture e che comportano problemi per la pubblica incolumità.

14.1 IL TERRITORIO

La fonte più aggiornata per quanto attiene all'uso del territorio della Lombardia è rappresentata dal progetto DUSAF (**D**estinazione d'**U**so dei **S**uoli **A**gricoli e **F**orestali).

L'indicatore *uso del suolo* ha una rilevanza fondamentale in quanto descrive le principali tipologie

delle macroattività insistenti sul territorio e la loro diffusione spaziale.

L'utilizzo del territorio lombardo è innanzitutto influenzato dalla sua distribuzione altimetrica e morfologica. La superficie regionale, che ha un'estensione di quasi 24.000 Km², è costituita per il 47% da pianura: questa fascia altimetrica ospita il 68% dell'intera popolazione regionale ed è quella più soggetta a pressione antropica, con occupazione, impermeabilizzazione di suolo e densità abitativa elevata. Una quota di poco inferiore (41%) è costituita da montagna, dove risiede l'11% della popolazione e dove insistono le aree maggiormente soggette a fenomeni di dissesto idrogeologico. Le zone di fondovalle soffrono dei medesimi problemi di elevata pressione antropica delle zone di pianura e risentono contemporaneamente delle conseguenze negative legate alla vulnerabilità dei centri abitati. Il resto del territorio (12%) comprende le aree di collina, dove vive il 21% degli abitanti.

L'uso del territorio è stato analizzato secondo macro-categorie, ognuna delle quali comprende al proprio interno un certo numero di classi DUSAF.

Il metodo di aggregazione in macro-categorie si è posto l'obiettivo di evidenziare l'influenza del fattore umano sull'uso del suolo e ha portato alle seguenti definizioni:

AREE COLTIVATE: accorpano le superfici adibite alle colture seminative, le legnose agrarie ed i prati coltivati.

AREE NATURALI: comprendono sostanzialmente boschi e vegetazione naturale, nonché quelle aree sterili riguardanti gli accumuli detritici e gli affioramenti litoidi privi di vegetazione.

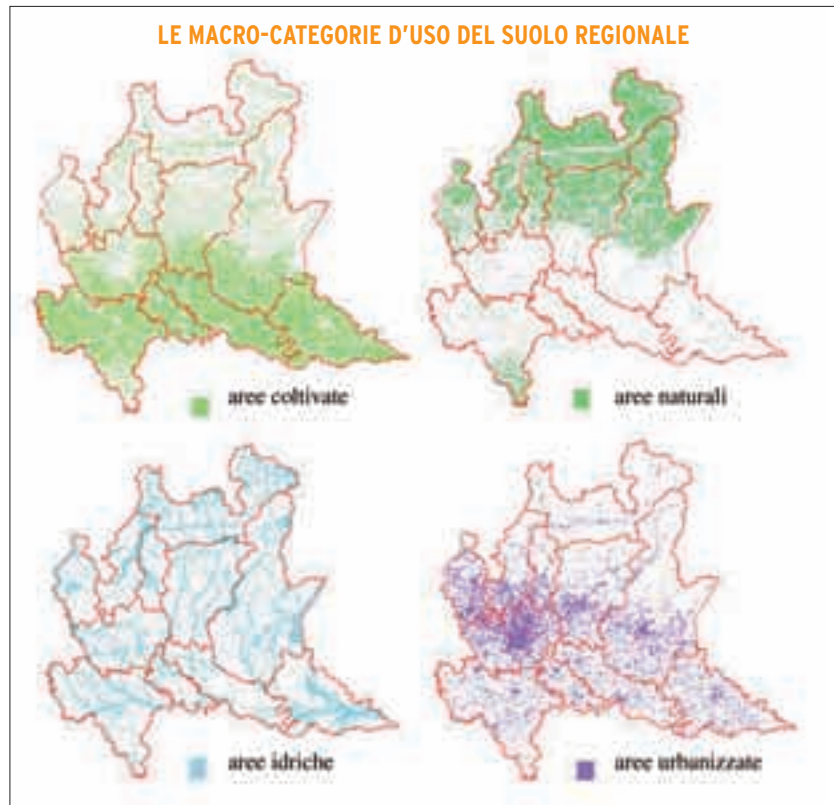
AREE IDRICHE: includono tutti i corpi idrici, i ghiacciai, le aree sabbiose e ghiaiose, le spiagge e le aree estrattive.

AREE URBANIZZATE: accorpano tutte le superfici urbane, le infrastrutture, le discariche e gli ambiti degradati soggetti ad usi diversi, nonché le aree non fotointerpretabili perché coperte da segreto militare.

Le AREE COLTIVATE coprono buona parte del territorio della pianura lombarda e contengono anche aree storicamente strappate alle paludi e bonificate con una capillare rete di drenaggio e di irrigazione sviluppata lungo i secoli. Si tratta della fertile pianura irrigua, dove il sistema agro-

forestale svolge un importante ruolo a protezione dell'ambiente ma può anche esercitarvi pressioni quali l'uso di cospicue risorse idriche, l'immissione nel terreno di sostanze inquinanti e di surplus di nutrienti, la compattazione dei suoli.

Nella parte montana le aree coltivate mostrano invece una tendenza ad essere abbandonate dall'uomo e colonizzate dai boschi. Questo fenomeno costituisce motivo di preoccupazione per il delicato equilibrio idrogeologico poiché, molto spesso, i boschi non più controllati dal lavoro umano possono diventare possibili luoghi di innescio di fenomeni franosi. Alcuni problemi possono nascere, in zona collinare e montana, anche dal cambiamento delle tipologie di lavorazione agricola: ad esempio sembra ormai accertata la relazione tra l'aumento della franosità di un pendio ove la vite - un tempo coltivata per filari disposti in terrazzamenti orizzontali - viene ora disposta in file verticali, più facilmente gestibili con raccolte automatizzate. I terrazzamenti orizzontali infatti garantivano maggiormente la stabilità del pendio.



Fonte: ERSAF, Regione Lombardia, elaborazione ARPA Lombardia

Figura 1

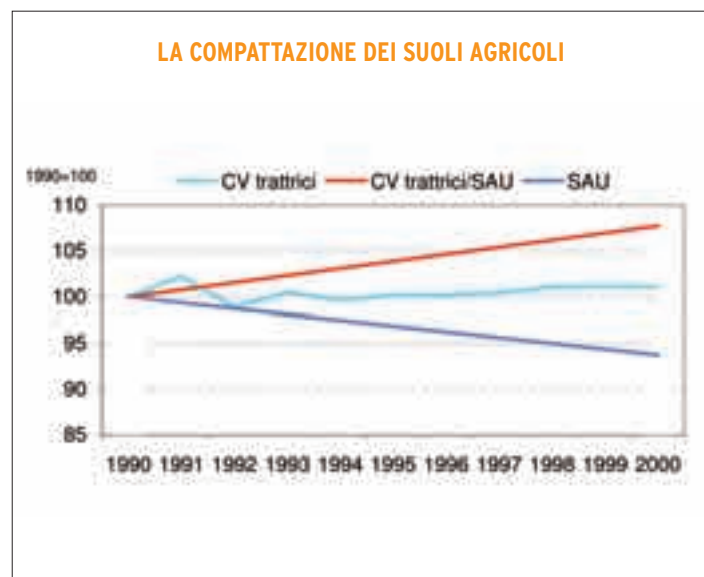
La banca dati DUSAF (Destinazione d'uso dei suoli agricoli) consente la rappresentazione cartografica degli usi del suolo anche con dettaglio molto fine: il raggruppamento in quattro macroaree tematiche consente di valutare le relazioni tra la presenza dell'uomo e le principali componenti ambientali.



Fonte: ERSAF, Regione Lombardia, elaborazione ARPA Lombardia

Figura 2

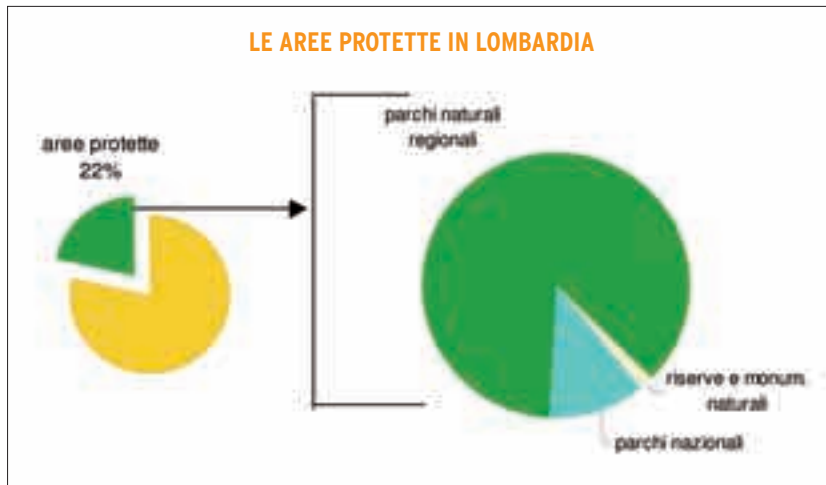
La superficie occupata dalle aree urbanizzate appare molto limitata; in realtà, la quota prevalente del territorio regionale (88%), potenziale riserva di elementi naturali, è anch'essa esposta alle pressioni antropiche. È quindi questa parte che richiede maggiore attenzione in quanto più sensibile e meno capace di autoregolazione.



Fonte: ISTAT, Regione Lombardia, elaborazione ARPA Lombardia

Figura 3

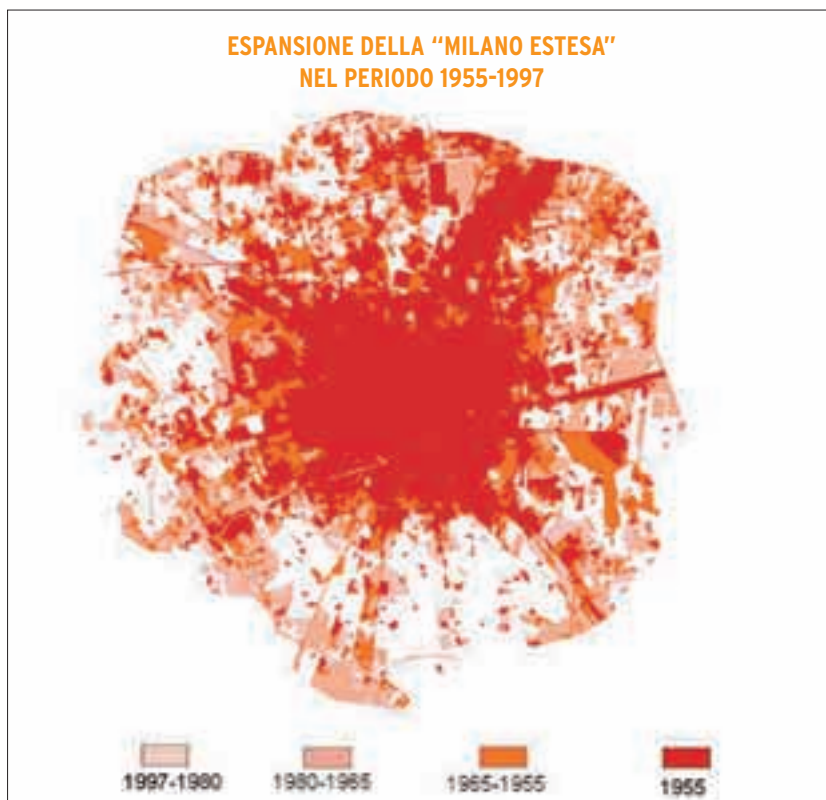
Uno degli effetti dell'agricoltura intensiva della pianura irrigua è la compattazione del suolo. La presenza di macchine agricole sempre più potenti su una superficie agricola utilizzata (SAU) in diminuzione contribuisce a peggiorare le proprietà pedologiche dei terreni.



Fonte: ARPA Lombardia

Figura 4

La Lombardia, pur densamente abitata, riserva una quota considerevole (22%) del proprio territorio alle aree protette dell'intera superficie regionale. Questo patrimonio, costituito da 1 parco nazionale e 6 regionali, 62 riserve naturali e 23 monumenti naturali, è un fattore primario di attrazione turistica e di benessere economico.



Fonte: European Commission JRC Ispra

Figura 5

Nell'ambito di un progetto della Commissione Europea è stata realizzata un'analisi evolutiva dell'uso del territorio negli ultimi quarant'anni su un'area campione individuata per la particolare propensione all'urbanizzazione spinta.

Il territorio è individuato dall'area urbana del comune di Milano - pari al 77 % dell'intera superficie comunale - nonché da una cintura attorno ad essa larga 3 chilometri e comprendente territori di 24 comuni limitrofi per un totale di 409,41 Km². L'analisi consente di evidenziare gli importanti cambiamenti che hanno riguardato l'area campione, denominata "Milano estesa", dal 1955 al 1997.

Le AREE NATURALI coprono quelle zone che hanno un basso grado di artificializzazione e sono in genere ricoperte da boschi o da vegetazione naturale, con diverso grado di copertura, fino ad arrivare alle zone prive di vegetazione pioniera, poste soprattutto ad alta quota. Comprendono in genere aree ad elevato pregio ambientale, anche con scarso grado di differenziazione ecosistemica, nonché aree abbandonate e particolarmente pericolose perché sensibili ai franamenti ed ai dissesti.

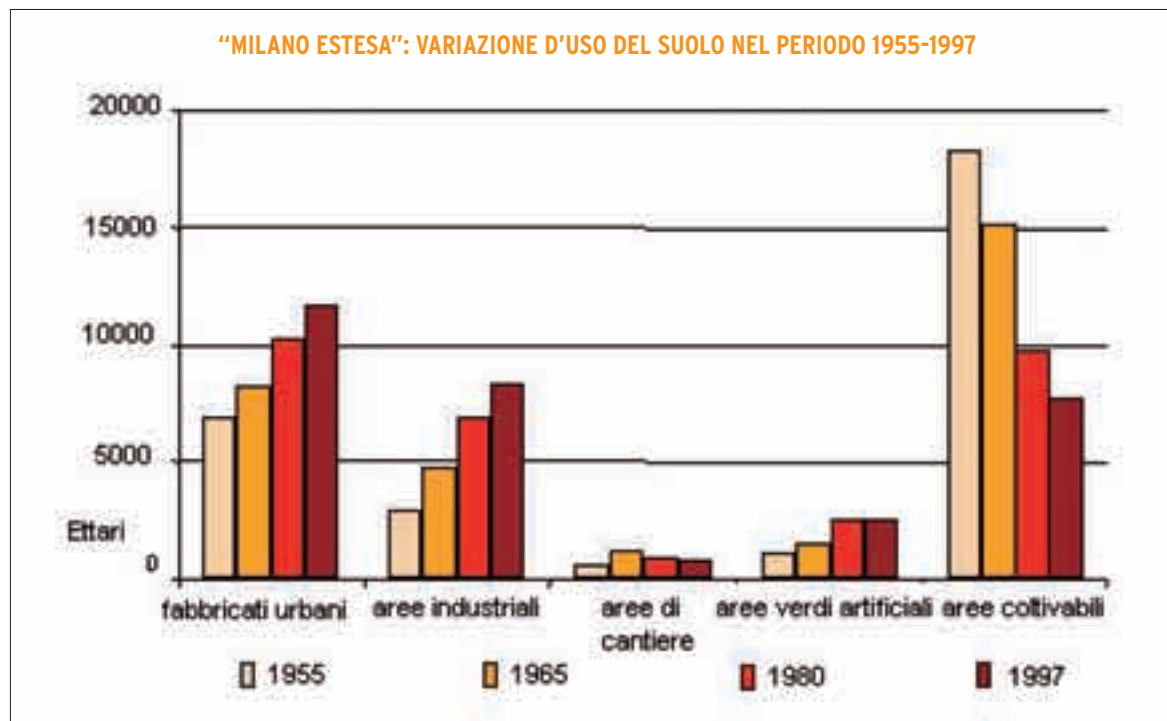
In particolare, dagli anni cinquanta, è in corso un processo di abbandono della pratica alpicolturale in tutto l'arco alpino; solamente nell'ultimo trentennio la superficie pastorale delle Alpi Lombarde è diminuita del 38%, più di un quarto del quale registrato nel periodo dal 1990 al 2000. Tale abbandono comporta, oltre all'aumento del rischio di incendio e di dissesti, una diminuzione del valore estetico del paesaggio, una minore accessibilità e fruibilità turistica delle aree e una riduzione della biodiversità vegetale e animale.

Le AREE IDRICHE comprendono i laghi, i bacini di acqua, gli alvei fluviali ed i canali sia di origine naturale che artificiale. Si tratta di ambiti territoriali la cui influenza è ben maggiore rispetto alla superficie evidenziata, influenza che si manifesta sia a livello superficiale (erosioni, inondazioni, drenaggi, ecc) sia nel sottosuolo (soprattutto sulle falde acquifere). L'importanza di queste aree è determinante, oltre che per la conformazione morfologica dell'intero territorio regionale, anche nello sviluppo del tessuto urbanistico e delle attività produttive, ivi comprese buona parte delle attività industriali. In ambito ambientale non è possibile alcun tipo di analisi conoscitiva che prescindano dagli aspetti inerenti ai corpi idrici e alle loro interrelazioni con il territorio.

Le AREE URBANIZZATE sono quelle ove la presenza dell'uomo ha determinato le più significative trasformazioni del paesaggio, originate da due fattori principali.

Il primo è costituito dall'alta densità abitativa - sono le aree più densamente popolate e più ricche di strutture e infrastrutture indispensabili alla vita degli uomini - e contribuisce ad aumentare la vulnerabilità e anche l'attenzione per la salvaguardia da fenomeni naturali avversi.

Il secondo fattore riguarda la compromissione degli equilibri naturali. Le profonde trasformazio-



Fonte: European Commission JRC Ispra

Figura 6

Ad oggi, i cambiamenti più significativi riguardano le superfici agrarie - che sono state dimezzate (nel 1955 occupavano circa 18.000 ettari) - e le aree industriali, che sono state triplicate (nel 1955 occupavano circa 7.000 ettari). In crescita si annoverano le aree destinate ai fabbricati urbani e alle aree verdi: queste ultime, che hanno raddoppiato la loro estensione, occupano comunque un'esigua quota della superficie di "Milano Estesa".

ni del territorio operate dalla massiccia urbanizzazione hanno avuto, molto spesso, un influsso negativo che si avverte non solo dal punto di vista paesaggistico e naturalistico, ma anche nella gravità della risposta che il territorio dà nei confronti di fenomeni naturali, come le alluvioni. Infatti in zone fortemente urbanizzate gli effetti del fenomeno alluvionale vengono accentuati, sia in termini di aumento della velocità di scorrimento delle acque superficiali (incidenza sui tempi di corrivazione) sia sui volumi di acqua (portate di massima piena), sia in termini di gravità dei danni sociali e ambientali. Sulle zone sommerse infatti potrebbero insistere discariche o aree di stoccaggio di materiali pericolosi non controllabili in fase di emergenza.

La distribuzione delle aree urbanizzate è tale per cui, rispetto ad un valore medio regionale del 12%, presenta percentuali più elevate nelle province di Milano (38%) e Varese (27%); ma la situazione è delicata anche per le province di Como, Lecco, Bergamo e Brescia, dove la superficie urbanizzata occupa una percentuale significativa dell'area di pianura.

L'enorme espansione urbanistica iniziata a partire dell'ultimo dopoguerra ha inciso profondamente sul territorio lombardo accentuando numerosi problemi di tipo ambientale legati, ad esempio,

all'occupazione irreversibile di suolo e all'aumento delle superfici impermeabilizzate.

14.2 L'EQUILIBRIO IDROGEOLOGICO E LE CRITICITÀ

Il particolare tessuto territoriale e l'elevata influenza dell'attività antropica sull'ambiente rendono la Lombardia particolarmente sensibile alle precipitazioni meteorologiche, soprattutto se di eccezionale intensità.

La valutazione su scala regionale della relazione tra i fenomeni naturali e le modificazioni territoriali di origine antropica deve oggettivamente basarsi su osservazioni storiche protratte per parecchi decenni. L'evoluzione dell'uso del suolo nel tempo, le trasformazioni delle caratteristiche principali degli alvei fluviali (in gran parte ristretti e arginati), lo studio delle variabili meteo-climatiche, il confronto tra le risposte dei diversi bacini idrografici ad eventi pluviometrici intensi con caratteristiche simili, sono elementi indispensabili non solo per la conoscenza ma anche per l'operatività. In tali contesti occorre inoltre tener conto, ad esempio, dell'influenza delle opere idrauliche, della regolazione dei laghi naturali ed artificiali, del mutamento delle sezioni fluviali e della loro portata.

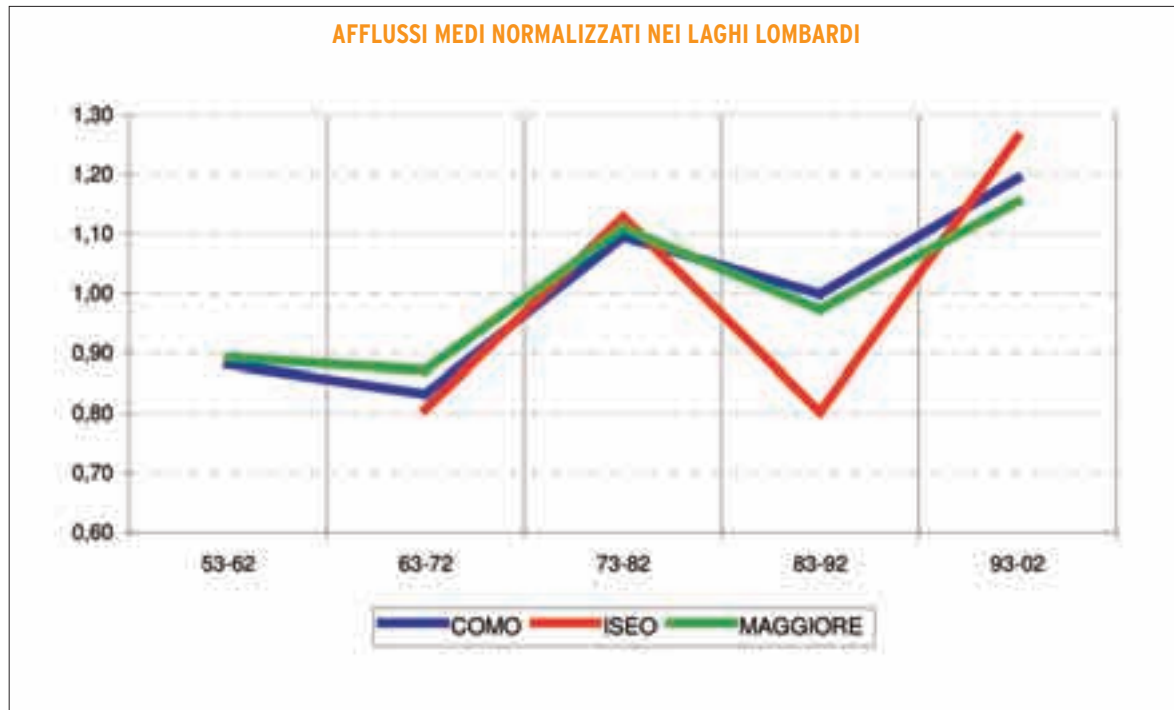
Figura 7 e 8

L'afflusso a lago ed il livello dello stesso sono indicatori significativi del peso che gli eventi pluviometrici intensi hanno sul bacino idrografico che alimenta il lago medesimo. La variazione della serie storica di afflussi e livelli è in qualche modo legata ai cambiamenti sia del regime pluviometrico sia del territorio stesso (come la diminuzione dei tempi di scorrimento e di trasferimento delle acque superficiali, e l'aumento delle superfici impermeabilizzate) e rappresenta una sintesi degli effetti di tali variazioni.

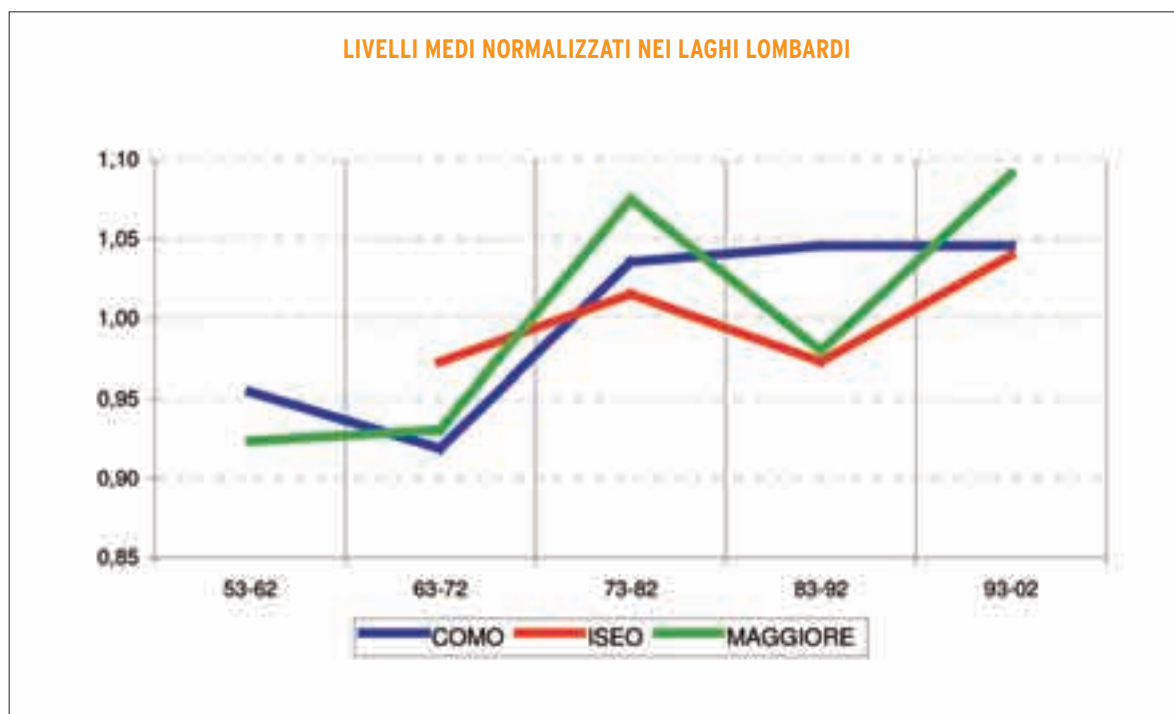
Nel caso dei laghi di Como, Maggiore e Iseo i valori statistici calcolati (*) mostrano una tendenza alla crescita che raggiunge nell'ultimo decennio il valore massimo di afflusso e di livello di tutta la serie storica considerata (1953-2002).

Per quanto riguarda i livelli, si tenga conto che i valori osservati sono influenzati dalla regolazione artificiale del livello operata dagli enti regolatori dei grandi laghi.

(*) I grafici riportano (per ogni decennio di riferimento) i valori medi dei valori massimi annuali di afflusso e del livello medio giornaliero.



Fonte: Consorzi Ticino, Adda, Oglio, elaborazione ARPA Lombardia



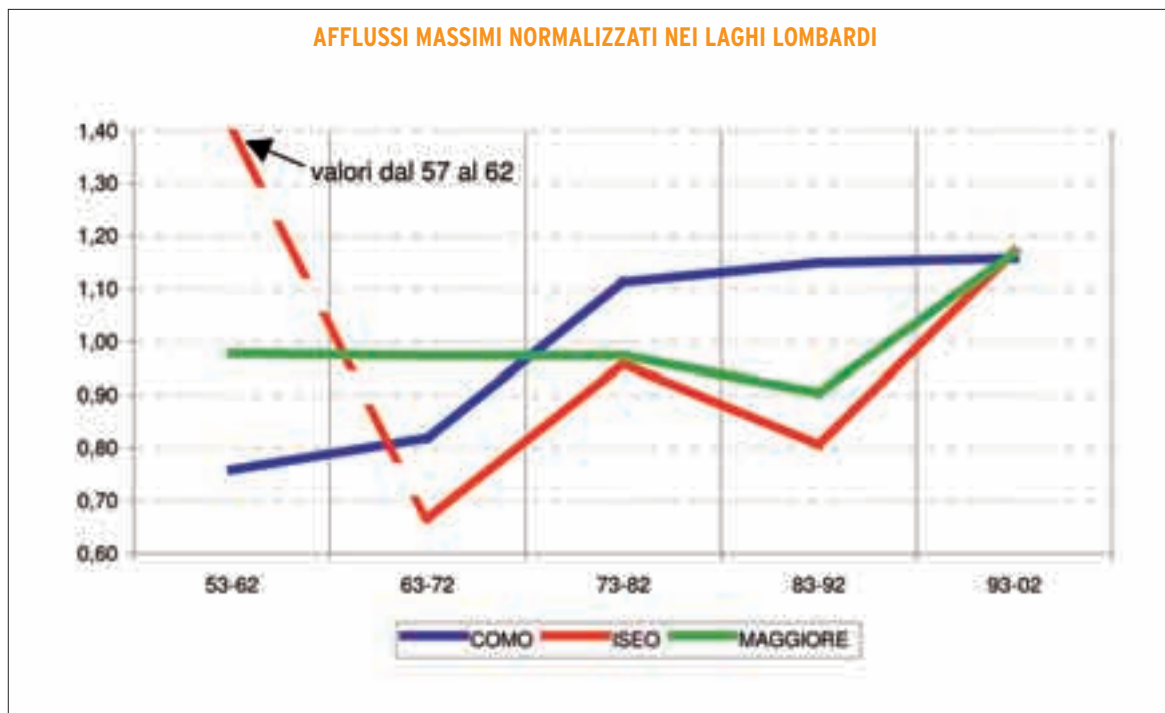
Fonte: Consorzi Ticino, Adda, Oglio, elaborazione ARPA Lombardia

I LAGHI COME INDICATORI

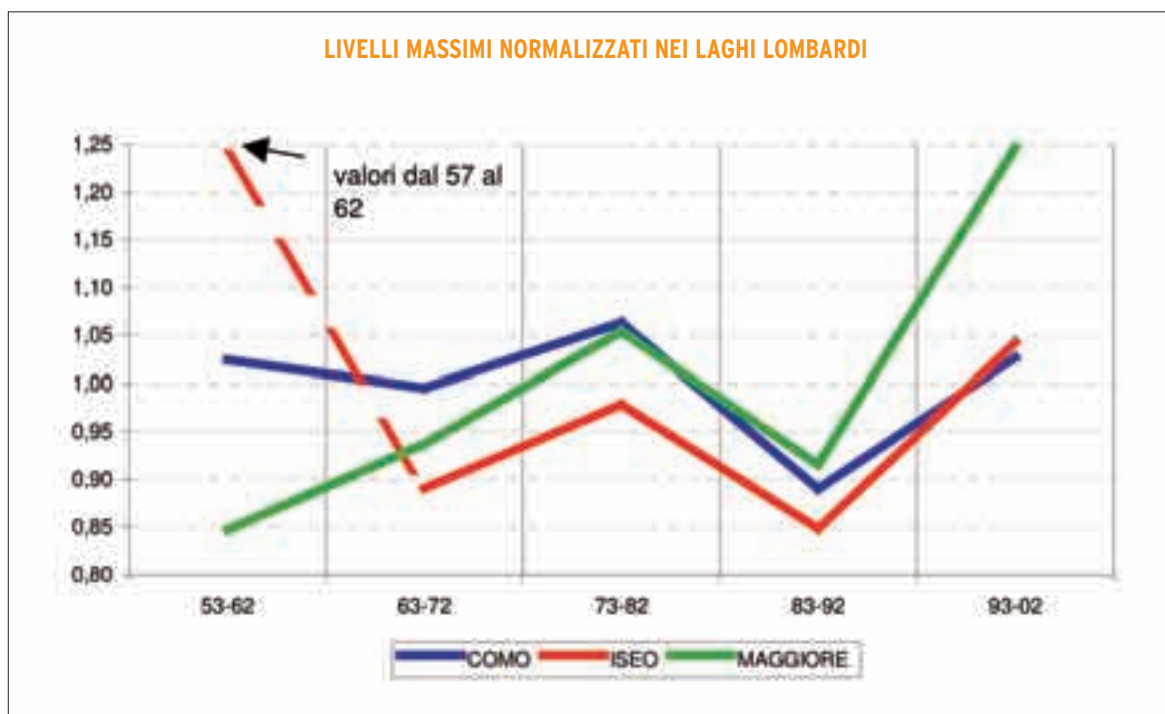
Alcune considerazioni sulla risposta del territorio a sollecitazioni intense di tipo meteorico si possono derivare da due parametri disponibili per un arco temporale di oltre 50 anni: *l'afflusso a lago ed i livelli idrici raggiunti*. Ciò che affluisce ai laghi, infatti, risente sia dei cambiamenti fisici del bacino idrografico a monte, sia di eventuali cambiamenti climatici che tendono ad acutizzare e ad aumenta-

re la frequenza di episodi alluvionali.

Il lago Maggiore, anche se buona parte del bacino afferente non è in territorio lombardo, esondando può coinvolgere pesantemente la provincia di Varese; il lago di Como presenta il bacino più rilevante per estensione a livello regionale (4.552 Km²); il lago di Iseo possiede un bacino imbrifero di 1.736 Km², ubicato totalmente in Lombardia.



Fonte: Consorzi Ticino, Adda, Oglio; elaborazione ARPA Lombardia



Fonte: Consorzi Ticino, Adda, Oglio; elaborazione ARPA Lombardia

Negli ultimi quaranta/cinquanta anni si registra la tendenza alla crescita nei valori di entrambi i parametri, che appare più marcata nei valori massimi degli afflussi; in particolare per il Lago di Como, gli afflussi degli ultimi 25 anni hanno una media superiore del 33% rispetto a quelli dei 25 anni precedenti.

I valori medi dei livelli del lago di Como risultano invece invariati negli ultimi anni in quanto risento-

no del diverso regime di regolazione del livello del lago.

Afflussi e livelli, pur essendo una sintesi di fenomeni molto complessi, evidenziano comunque che la risposta dei bacini è legata in modo eccessivo e non naturale al regime pluviometrico: il territorio a monte dei bacini lacuali sembra stia riducendo la propria attitudine a svolgere le funzioni di difesa idrogeologica e di regolazione dei flussi idrici.

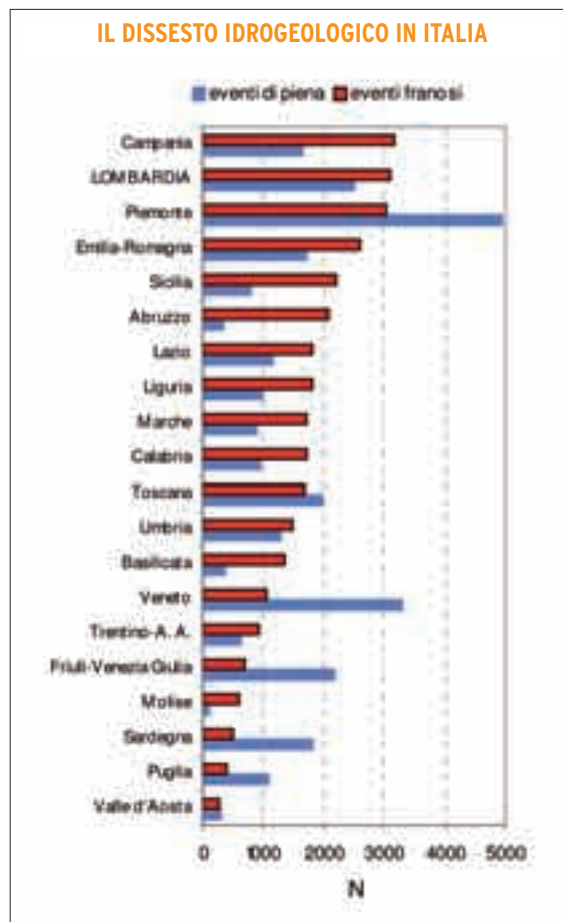
Figura 9 e 10

I valori massimi assoluti del decennio degli afflussi e dei livelli medi giornalieri danno un'idea della pericolosità del singolo episodio di piena. L'andamento di tali curve evidenzia, soprattutto per i bacini del lago di Como e Maggiore, l'aumento della pericolosità degli eventi di piena dell'ultimo decennio.

Figura 11

L' inventario nazionale delle frane e inondazioni raccoglie informazioni sugli eventi di maggiore entità per un periodo di 80 anni. La Lombardia - con oltre 3.000 frane e circa 2.500 eventi di piena - è tra le regioni più colpite, in particolar modo dagli eventi franosi.

Fonte: CNR-GNDCI, elaborazione ARPA Lombardia



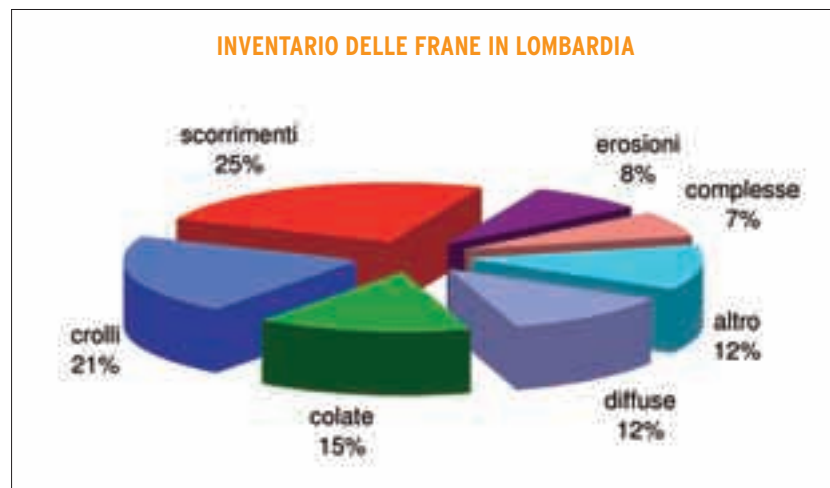
LA CONOSCENZA DEGLI EVENTI CRITICI

La prima iniziativa organica intesa a costituire un censimento delle aree colpite da frane e alluvioni è stata realizzata a livello nazionale, e riguarda il periodo 1918-1994 (Progetto AVI: *Aree Vulnerate da calamità Idrogeologiche*).

Tutto il territorio italiano è stato soggetto a catastrofi idrogeologiche: in ogni provincia infatti si è verificata almeno una frana o una inondazione. Degli 8.102 comuni italiani ben 5.497 sono stati colpiti da dissesti; in particolare, il 47,6% è stato interessato da movimenti franosi, il 42,8% da inondazioni e il 22,6% sia da frane che da inondazioni.

Le regioni più colpite sono la Campania, il Piemonte e la Lombardia: quest'ultima, nel periodo di 80 anni considerato, è stata interessata da oltre 3.000 frane e 2.500 inondazioni. L'intensità dei danni causati dalle catastrofi idrogeologiche può essere *lieve, grave o totale*, mentre la tipologia di danno si riferisce alle strutture che sono state maggiormente coinvolte nell'evento: gli edifici civili e le strade sono le strutture più frequentemente interessate da frane o da inondazioni.

INVENTARIO DELLE FRANE IN LOMBARDIA



Fonte: Regione Lombardia, elaborazione ARPA Lombardia

Figura 12

La "Carta Inventario dei Dissesti Idrogeologici" è uno strumento fondamentale di conoscenza del territorio lombardo. Sono stati cartografati oltre 60.000 elementi interessati da eventi di dissesto che riguardano circa il 7% dell'intera regione e il 20% delle aree alpine. Gli eventi franosi più frequenti nella regione sono le frane di scivolamento (scorrimenti) e di crollo.

La Lombardia è una regione che presenta considerevoli fenomeni di instabilità di versante e ha subito, anche recentemente, eventi alluvionali con una significativa frequenza. Ciò ha storicamente causato costi per la società sia in termini di danni a beni pubblici e privati sia, purtroppo, anche in termini di vite umane: basti ricordare le oltre 1200 vittime della frana di Piuro (1618) in Valchiavenna (SO); i 115 morti causati dalla frana del 1762 a Gero-Barcone (Valsassina, LC); le 40 vittime causate dall'alluvione della Valtellina nel 1987, che ha innescato la frana della Valpolca e numerosi dissesti minori.

La Regione Lombardia ha quindi sentita come fondamentale la necessità di affrontare in modo sistematico la problematica relativa al dissesto idrogeologico, considerando prioritaria la conoscenza della distribuzione attuale dei dissesti. Ha quindi reso operativo il progetto denominato "Carta Inventario dei Dissesti Idrogeologici", che copre tutto il territorio lombardo e che è stato realizzato da più soggetti.

Gli elementi inventariati sono più di 60.000 e coprono un'estensione superficiale di ben 1.687

Km², pari al 7% dell'intera superficie regionale; il 20% circa del territorio alpino della Lombardia è interessato da fenomeni di dissesto, rinforzando ulteriormente il grande interesse istituzionale per questa problematica.

L'evidente relazione tra alcuni fenomeni, il livello di rischio per l'incolumità delle persone e la salvaguardia di infrastrutture fondamentali pone in evidenza la necessità della sinergia istituzionale sia a livello conoscitivo che di pianificazione territoriale per la prevenzione dal rischio idrogeologico.

Frane, erosioni di versante, colate detritiche, prendono solitamente l'avvio dal convergere di più fattori, spesso non facilmente scindibili tra loro. Molti sono determinati da cause naturali - come particolari aspetti geologici, eventi idrometeorologici particolarmente intensi o fenomeni sismici - altri possono derivare dall'alterazione di equilibri precari, provocata da azioni dell'uomo: ne sono esempi l'eliminazione della vegetazione, la cattiva canalizzazione delle acque o il taglio dei versanti per la costruzione di opere.

In generale, si può osservare che le aree con maggiore frequenza di fenomeni di instabilità si incontrano in Valtellina, nell'alto Lario occidentale, in Valcamonica e nella Bergamasca, oltre che nella porzione collinare dell'Oltrepo Pavese.

Tra i fattori che influenzano la distribuzione territoriale dei dissesti va certamente annoverata la litologia, la cui importanza varia in funzione del tipo e della profondità del dissesto; è spesso difficile invece scindere il contributo della vegetazione da quello della morfologia del terreno (quota, pendenza, esposizione) la quale, tra l'altro, è anche un fattore determinante per l'utilizzo del suolo. Anche la relazione tra la piovosità media annua e la distribuzione dei dissesti è difficilmente interpretabile in quanto risulta spesso mascherata sia dall'elevata complessità del territorio sia dalla conformazione del campo dei venti, che produce minimi di pioggia proprio in alcune zone interne alle Alpi altamente franose a causa della pendenza, della litologia o di altri fattori endogeni.

Una frazione rilevante del territorio regionale particolarmente esposta ai fenomeni di dissesto idrogeologico riguarda l'area alpina; in particolare, al suo interno assume rilevanza idrogeologica la presenza delle *aree di conoide*. Queste aree si

trovano allo sbocco di valli solitamente piccole ma profondamente incise che, con il lento apporto di materiale, ne hanno modellato la morfologia e ridotto la pendenza: nel territorio alpino lombardo circa il 25% delle zone urbanizzate giace su aree di conoide. Infatti, la notevole fertilità dei terreni e la particolare conformazione morfologica (favorevole sia rispetto alla piana alluvionale sia rispetto ai versanti montani non facilmente accessibili) spiegano l'alta densità di urbanizzazione propria di tali aree. Il grado di pericolosità delle conoidi - ambienti particolarmente attivi dal punto di vista geomorfologico - si trasferisce così a una parte significativa degli insediamenti residenziali e produttivi situati in area alpina.

CENTRO ABITATO SU AREA DI CONOIDE



Fonte: Regione Lombardia, foto A.E.M.

Figura 13

Le aree di conoide in territorio alpino sono spesso interessate da insediamenti umani: la notevole fertilità dei terreni e la ridottissima pendenza delle superfici le rendono più favorevoli all'urbanizzazione rispetto a versanti non facilmente accessibili.

Tali aree però sono spesso caratterizzate da fenomeni di dissesto idrogeologico apparentemente quiescenti, in modo tale da essere potenzialmente esposte al rischio di eventi avversi: scivolamenti e colamenti di materiale detritico dal pendio sovrastante possono incrementare il trasporto di materiale solido e investire direttamente i centri abitati.

UN CENTRO PER IL MONITORAGGIO DEI FENOMENI FRANOSI

Il **Centro Monitoraggio Geologico** di ARPA Lombardia, attivo fin dal 1987, controlla 16 aree franose ad alto rischio situate nelle province di Brescia, Bergamo, Lecco e Sondrio, oltre a una rete idro-meteorologica in telemisura (120 sensori) attiva su gran parte dell'area montana lombarda. I sistemi di previsione e controllo utilizzano principalmente strumentazione geotecnica (complessivamente circa 600 sensori), via via integrata da tecniche innovative al fine di rendere più efficiente il servizio offerto che, in alcuni casi, prevede l'attivazione di procedure di emergenza.

Il Centro dispone di:

- **GPS (Global Position System).** I sistemi satellitari sono impiegati ormai da molti anni per il controllo di diversi fenomeni franosi. Dal 2000 è attiva sulla frana del Ruinon (So) una rete GPS permanente per il rilevamento degli spostamenti in automatico. Tale sistema, unico al momento della sua installazione, consente il controllo in continuo della evoluzione della frana, utilizzando due postazioni GPS.
- **Deformometro elettromagnetico.** Questa tecnica, ancora in via di sperimentazione, è volta al monitoraggio di frane con dinamica molto lenta (pochi millimetri all'anno) dal momento che può registrare spostamenti di minima entità (anche inferiori al decimo di millimetro); superando quindi i limiti strumentali dei sistemi tradizionali, la cui indeterminazione è tale da mascherare spesso l'effettivo movimento. Il deformometro - la cui applicazione può essere estesa dalle frane, alle dighe, ai ponti, agli edifici monumentali - viene impiegato dal Centro in maniera del tutto esclusiva non essendo note altre applicazioni nel mondo.
- **Interferometria radar da terra.** È stata applicata in via sperimentale sulla frana del Ruinon, in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche e dell'Agenzia Spaziale Italiana. La sperimentazione, la prima in assoluto per il controllo di grandi frane, ha messo in luce la potenzialità del sistema, soprattutto per la gestione della fase emergenziale, dal momento che il controllo è esteso all'intero corpo franoso senza necessitare di strumenti o operatori in zone a rischio. L'incrocio degli spostamenti rilevati per via geotecnica e tramite la strumentazione radar ha permesso una taratura del sistema.
- Per il controllo delle precipitazioni in aree vallive è in corso la sperimentazione del **Pluviometro elettromagnetico.** Questa tecnica, assolutamente innovativa, consente la stima in tempo reale delle piogge lungo una direttrice prefissata, detta "baseline", della lunghezza di circa 7.5 km. Il principio di funzionamento si basa sull'attenuazione che un segnale radio (nel caso microne) subisce ad opera delle gocce di pioggia nel percorso compreso tra trasmettitore e ricevitore. Vengono così parzialmente risolti i problemi delle misure effettuate tramite i classici pluviometri a terra che, avendo una distribuzione puntuale, non permettono una stima su scala territoriale. La sperimentazione è condotta in collaborazione con il Politecnico di Milano.

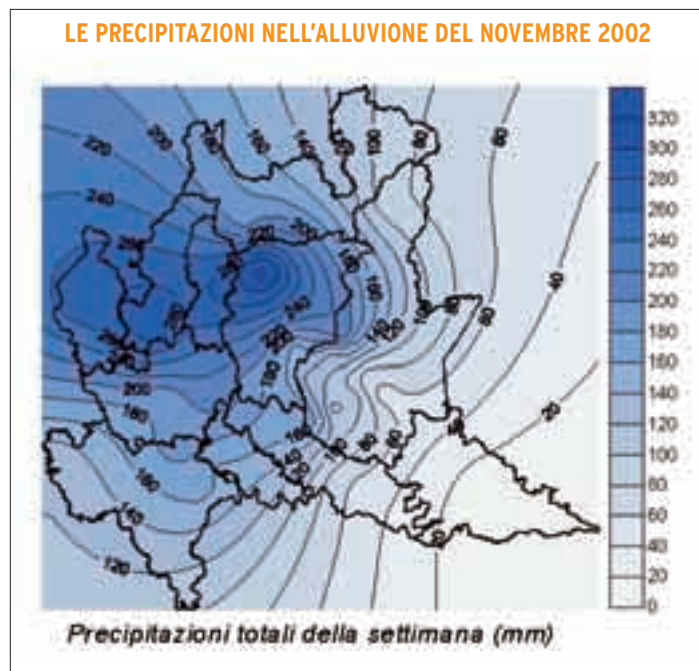
Il livello di rischio del territorio alpino si evidenzia associando la tipologia e l'attività delle frane (attive, quiescenti, riattivate, paleofrane) agli elementi maggiormente vulnerabili (aree urbane, strade, ferrovie, linee elettriche). In Lombardia sono stati individuati 23,6 km² di elementi sensibili - zone urbane e infrastrutture - interessate da fenomeni franosi e 6,2 km² di aree, in zona di conoide, ritenute attive e/o pericolose. Tuttavia - se si considerano anche i fenomeni quiescenti e il fatto che gli stessi hanno la possibilità di riattivarsi almeno in parte - le aree interessate risultano molto più ampie e aumenta di conseguenza il livello di rischio sistemico delle aree alpine: l'esposizione potenziale del territorio alpino a questi fenomeni

assume una consistenza tale da richiedere sistemi di previsione e controllo molto efficienti.

Il caso dell'evento alluvionale del novembre 2002 costituisce un esempio eclatante circa l'intensità sempre maggiore con la quale si manifestano gli eventi meteorologici avversi e i danni da essi derivanti.

L'evento ha comportato non solo danni materiali, ma anche la necessità di evacuare intere frazioni od aree di paesi - alcune delle quali rese di nuovo agibili solo dopo qualche mese dall'evento - con pesanti ricadute, di ordine anche psicologico, sulle persone coinvolte.

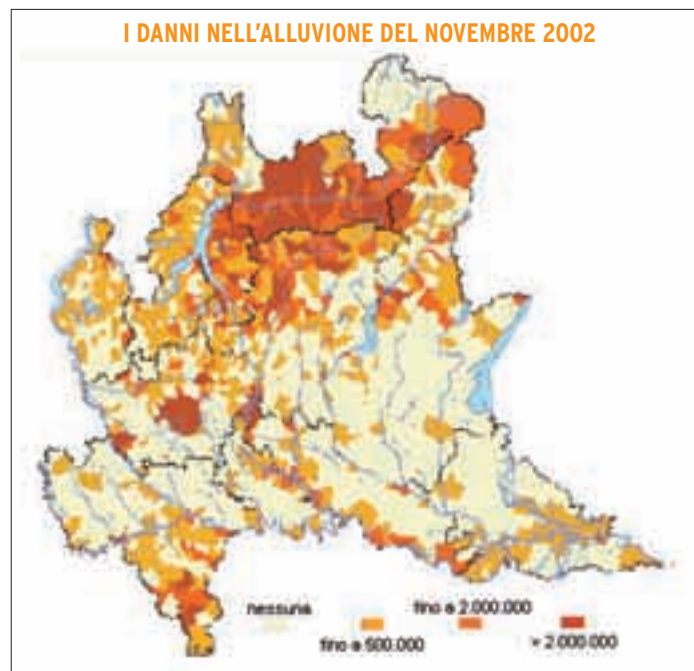
I danni relativi alle opere pubbliche, alle infrastrutture e alle opere di difesa del suolo si sono dimo-



Fonte: ERSAF Lombardia

Figura 14

I dissesti idrogeologici di grande rilevanza per gravità ed estensione sono legati ad eventi meteorologici avversi di grande intensità. In occasione degli eventi alluvionali del novembre 2002 si sono osservate su vaste aree precipitazioni molto intense e prolungate che, in una settimana, hanno raggiunto livelli cumulati superiori ai 300 mm.



Fonte: Regione Lombardia, elaborazione ARPA Lombardia

Figura 15

Gli eventi di dissesto idrogeologico di una certa rilevanza comportano sempre danni economici e sociali molto ingenti. Nel caso dell'alluvione del novembre 2002 l'entità dei danni arrecati alle grandi infrastrutture, alle strutture pubbliche, agricole, industriali e civili è un buon indicatore della gravità dell'evento avverso e del suo grado di diffusione anche ad altre componenti del sistema socio-economico: in questa occasione, ad esempio, una parte considerevole delle popolazioni residenti è stata gravemente colpita da danni sia economici sia riguardanti la vita di relazione (migliaia di persone evacuate).

strati di grande rilevanza, assommando a circa 640 milioni di €.

L'alluvione ha interessato una superficie agricola di circa 30.000 ettari con danni alle strutture aziendali, alle strutture interaziendali e alle opere di bonifica; una prima stima economica dei danni alle strutture private indica una valutazione complessiva di circa 115 milioni di €.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E DI APPROFONDIMENTO

- Agostoni, S.; Laffi, R.; Sciesa, E. *Centri abitati instabili della provincia di Sondrio*. Regione Lombardia; CNR-GNDCI. Pubblicazione n. 1580.
- ARPA Lombardia - Centro Monitoraggio Geologico. *Controllo dell'evoluzione dei fenomeni franosi in Lombardia*. 2003.
- CNR - Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche. *Progetto AVI (Aree Vulnerate da calamità Idrogeologiche)*. 1994.
- Crosta, G.B.; Frattini, P.; Ceriani, M.; Fossati, D. *Inventario delle frane e dei dissesti della regione Lombardia: analisi stocastica e probabilistica per una valutazione preliminare della pericolosità*. 2002.
- Consiglio delle Comunità Europee. *CORINE (Coordination of Information on the Environment)*. 1985 e successive revisioni.
- ERSAF, Regione Lombardia DG Agricoltura. *Progetto DUSAF (Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali)*. 2002.
- European Commission JRC Ispra. *Murbandy Change Milan project: final report of Monitoring Urban Dynamics*. 2001.

<http://www.apat.it>

<http://www.ei.jrc.it>