

LA PREVENZIONE DEI DISSESTI IDROGEOLOGICI NELLE AREE URBANE

A cura di V. Francani, G. Formentin, L. Colombo, D. Cremonesi

vincenzo.francani@polimi.it, giovanni.formentin@tethys-geco.it, loris.colombo@polimi.it,
daniele.cremonesi@polimi.it

Indice

1	INTRODUZIONE	2
2	LE ANALISI DI RISCHIO IDROGEOLOGICO NELLE AREE MONTANE	2
2.1	Metodi per la valutazione della pericolosità a scala regionale	3
2.1.1	Metodi statistici indiretti	3
2.1.2	Metodo statistico diretto	4
2.1.3	Approccio deterministico	5
3	L'ANALISI DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO NELLE AREE DI PIANURA ALLUVIONALE	5
4	CONCLUSIONI	7
5	BIBLIOGRAFIA	8

indagini volte a una migliore definizione delle metodologie di analisi.

1 INTRODUZIONE

Le rapide trasformazioni del territorio e il diffondersi delle costruzioni nelle aree montane hanno creato situazioni nelle quali risulta difficoltoso applicare le analisi di rischio idrogeologico tradizionali, basate essenzialmente sulla correlazione tramite modelli o calcoli analitici che permettono di stabilire una relazione quantitativa fra entità e tipologia dei fenomeni naturali (in specie piogge, fusione delle nevi) e la genesi di catastrofi.

Attualmente appare opportuno produrre l'analisi dei rischi già nel corso della fase progettuale di nuovi insediamenti, in quanto da essi possono derivare alterazioni all'equilibrio naturale essenziali per un corretto inquadramento dei processi che presiedono allo sviluppo di eventi catastrofici.

Gli studi compiuti hanno permesso di ottenere buoni risultati soprattutto nelle aree montane, mentre per le aree di pianura appare necessario un approfondimento delle

2 LE ANALISI DI RISCHIO IDROGEOLOGICO NELLE AREE MONTANE

L'obiettivo principale dell'analisi del rischio di un territorio consiste innanzitutto nell'individuare le misure di salvaguardia più idonee e, di conseguenza nel ridurre l'entità dei danni che eventualmente possono interessare centri abitati, infrastrutture, vie di comunicazione.

La delimitazione delle aree a rischio presuppone una fase conoscitiva preliminare, seguita da una fase di elaborazione più o meno approfondita in funzione dell'accuratezza dei dati precedentemente raccolti e del grado di dettaglio richiesto ai fini dell'analisi. L'iter procedurale dell'analisi del rischio si snoda quindi tradizionalmente (Gattoni P., Francani V., 2007) secondo le fasi riassunte nella seguente Tabella 1:

Tabella 1 – Iter procedurale dell'analisi di rischio

FASE	ATTIVITÀ	RISULTATO
Fase conoscitiva	Acquisizione di dati (geologici, geologico – tecnici, idrologici e idrogeologici, frane precedenti, monitoraggio, ...) tramite la ricerca bibliografica (in particolare carte e inventario dei dissesti storici) e l'esecuzione di rilievi e indagini in sito, nonché prove di laboratorio	Individuazione delle tipologie di dissesto e ricostruzione del modello fisico con: <ul style="list-style-type: none"> – Ricostruzione e delimitazione dei dissesti in atto e potenziali; – Definizione dei possibili cinematismi e loro evoluzione – Determinazione dei parametri tecnici utili per le successive elaborazioni
Fase organizzativa	Tutte le informazioni raccolte nella fase conoscitiva vengono organizzate, possibilmente tramite un sistema GIS	Creazione di un database e delle cartografie di base utili alla successiva fase di elaborazione
Fase di elaborazione	Tramite l'applicazione di metodologie specifiche, in funzione della scala di analisi e della tipologia di dissesto, si procede alla quantificazione dei diversi parametri che concorrono a definire il rischio	Previsione del rischio: carte di pericolosità, vulnerabilità, rischio specifico, ...
Fase di gestione	Scelta progettuale degli interventi strutturali o programmazione del territorio	Prevenzione e mitigazione del rischio

Questa metodologia richiede la conoscenza sistematica di un gran numero di fattori, e comporta quindi un pesante lavoro di ricostruzione e sistematizzazione dei dati.

Si ritiene utile proporre che da uno screening iniziale si possano discernere le principali problematiche, in modo che le indagini vengano concentrate su queste, lasciando ad una fase successiva il completamento degli studi sui problemi che appaiono di minore urgenza.

2.1 METODI PER LA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ A SCALA REGIONALE

Nel seguito vengono descritti i principali metodi per la valutazione della pericolosità a scala regionale.

2.1.1 Metodi statistici indiretti

Si basano sull'utilizzo di tecniche di analisi statistica bivariate o multivariate; a partire dalla cartografia di vari fattori determinanti per la pericolosità da frana (pesati in funzione della loro importanza relativa) e della carta delle frane passate, si identificano le combinazioni critiche (in termini di frequenza di franamento) dei vari fattori (preventivamente suddivisi in classi di valori), estrapolando poi l'informazione anche alle aree attualmente non interessate da movimenti franosi, circoscrivendo così le zone potenzialmente più pericolose. In tale contesto riveste un'importanza fondamentale la corretta individuazione delle unità territoriali di base, cioè di un dominio spazialmente omogeneo ed oggettivamente cartografabile, al quale fare riferimento nell'implementazione del GIS. Possono essere:

- unità geomorfologiche: limiti naturali (litologia, morfologia, processi in atto) → si tratta di rappresentazioni soggettive, con acquisizione manuale del dato, che però ha un notevole significato fisico;

- sottobacini e versanti principali (emibacini): suddivisione geomorfologicamente significativa, implementabile con degli algoritmi a partire da un accurato modello altimetrico digitale del terreno;
- unique condition units (unità omogenee): derivanti da operazioni di sovrapposizione ed intersezione di carte tematiche (GIS) → scarsa rispondenza con l'assetto del territorio;
- celle elementari: discretizzazione tramite griglia regolare (pixel) → scarsa rispondenza con l'assetto del territorio.

Tali metodi statistici indiretti (Carrara & Guazzetti, 1995), che hanno avuto notevole diffusione hanno avuto negli anni scorsi, fanno generalmente riferimento ai seguenti fattori:

- fattori geologici:
 - litologia,
 - assetto strutturale (faglie, fratture, stratificazione, ecc.);
- fattori geomorfologici:
 - pendenza dei versanti,
 - altezza relativa,
 - dislivello relativo,
 - vicinanza alle maggiori frane,
 - distanza dalle creste più vicine;
 - idrologia e climatologia;
 - vegetazione;
 - analisi delle frane esistenti o avvenute in passato.

Il procedimento di rappresentazione cartografica (scala 1 :25.000) di questi metodi è

così articolato:

1. si suddivide l'area in esame in unità, ad esempio tramite una griglia;
2. si attribuisce un peso ad ognuno dei fattori sopra citati in funzione della

- loro importanza relativa quale causa di franamento;
3. si costruisce una carta delle frane passate, da sovrapporre poi alle carte tematiche dei singoli fattori per identificare le unità in cui si sono già verificati franamenti e svolgere quindi un'analisi statistica;
 4. si suddivide ogni fattore in classi e ad ogni classe si attribuisce una valutazione numerica in funzione della frequenza areale delle frane;
 5. si sovrappongono le carte tematiche di ciascun fattore e, tramite un'operazione di somma ponderata, si attribuisce ad ogni unità di territorio un indice numerico rappresentativo del grado di pericolosità.

In commercio sono disponibili vari modelli probabilistici di questo tipo, tra i quali si citano SINMAP e PISA (SINMAP, Pack et al., 1998; PISA, Haneberg, 2000).

Tra i limiti di questo approccio si sottolineano, oltre alla soggettività nella scelta dei parametri e del loro peso, la bassa risoluzione (dipendente dalla densità delle informazioni disponibili) e il fatto che la pericolosità così ottenuta è espressa in una scala relativa. Un ulteriore limite di questo approccio deriva dal fatto che, in genere, vengono trascurati gli aspetti connessi alla circolazione idrica sotterranea, molto spesso determinanti ai fini della stabilità di un versante; infatti, nonostante l'analisi delle interazioni tra la circolazione idrica sotterranea e la stabilità dei versanti sia sempre più diffusa nella valutazione della pericolosità su singoli fenomeni di instabilità, negli studi su ampia scala questo tipo di analisi viene generalmente limitata alla definizione di soglie pluviometriche per l'innescò di movimenti franosi superficiali, tralasciando gli effetti della circolazione idrica sui movimenti franosi più profondi; tale semplificazione deriva, evidentemente dalla complessità dei processi che governano il

fenomeno, nonché dalla frequente difficoltà nel reperimento di dati idrogeologici sufficienti. Per superare tali limiti è necessario affiancare i metodi indiretti con analisi di dettaglio, da effettuare alla scala del singolo versante.

2.1.2 Metodo statistico diretto

Si basa sull'analisi statistica dei rapporti di causa-effetto tra l'innescò di una frana e i suoi fattori causali; si tratta, per esempio, di ricostruire la distribuzione di probabilità del fattore di sicurezza F_s (tramite simulazioni Monte Carlo) in funzione della distribuzione di probabilità dei vari parametri di resistenza, delle pressioni interstiziali, ecc. e, quindi, calcolare la probabilità di rottura come : $p_f = p(F_s \leq 1)$.

Ben più complessa e, ad oggi, poco applicata (se non nel campo della ricerca scientifica) è la previsione temporale dell'evento in funzione delle serie storiche degli eventi passati (spesso schematizzabile, per eventi ricorrenti, tramite una distribuzione poissoniana), eventualmente in combinazione con le serie storiche dei fattori d'innescò (attività antropica, erosione, precipitazioni, terremoti); in questo caso si esprime la pericolosità in termini di probabilità condizionata:

industriali fortemente
urbanizzate.

Alcuni fattori di rischio sono connessi con il degrado qualitativo delle acque sotterranee, quali contaminazioni da prodotti industriali e discariche e intrusione salina dove i prelievi richiamano le acque marine.

Questi fattori possono agire separatamente, oppure connettersi tra di loro.

È comunque caratteristico del dissesto delle aree urbane l'assommarsi di tutti questi fenomeni: essi infatti sono resi più incisivi e preoccupanti dal fatto che la quantità di acqua immessa nei corpi idrici superficiali è insolitamente elevata, per il sommarsi degli afflussi derivanti dalle acque di pioggia agli scarichi urbani e industriali.

Una parte del dissesto idrogeologico delle aree urbane, deriva anche dallo scambio con i corpi idrici superficiali, che talora ricevono una eccessiva alimentazione e subiscono rapide variazioni di livello piezometrico.

Appare pertanto evidente che il mantenimento dell'equilibrio nel bilancio idrico dei corpi idrici superficiali e sotterranei e negli scambi reciproci può permettere di superare molti degli ostacoli al controllo del dissesto nelle aree urbane.

Se tuttavia si hanno gli strumenti idrologici per una corretta previsione delle piene e delle magre nelle aree urbane, nonostante le difficoltà create dalla molteplicità degli apporti ai corsi d'acqua, non risulta altrettanto nota la tecnica per la previsione del comportamento delle falde, e riteniamo pertanto utile esporre un esempio di queste tecniche applicate all'area milanese. Infatti la progettazione di infrastrutture, sia in fase esecutiva che in fase di esercizio, deve tenere conto della modalità di trattamento dell'acqua di falda presente a quote variabili e soggetta non solo a variazioni a scala regionale ma anche a carattere stagionale – locale che possono in taluni casi raggiungere anche i 2 m di oscillazione rispetto al livello medio. Nasce quindi l'esigenza prima della

www.engeology.eu

redazione di ogni progetto di eseguire uno studio idrogeologico previsionale che, partendo da dati storici consistenti (serie storiche di almeno 50 anni) pluviometrici e idrogeologici, risulta necessaria per la definizione della "quota falda di progetto". Un'indagine idrogeologica previsionale deve tenere conto quindi non solo delle condizioni attuali ma anche di quelle che potrebbero verificarsi a seguito di eventi capaci di dare luogo ad incrementi di livelli di falda non trascurabili ma ragionevolmente ipotizzabili. Si devono considerare per lo sviluppo di un modello previsionale la diminuzione dei prelievi per contaminazione, l'allontanamento o chiusura di grossi poli industriali idroesigenti, l'incremento anomalo delle precipitazioni, il contributo della rete irrigua presente.

Per l'analisi previsionale sono possibili diversi scenari a seconda di quale variabile si vuol cambiare in input. La ricarica dovuta alla precipitazione viene considerata mediante valori di precipitazioni estratte dalla distribuzione di piogge, e viene depurata dei flussi di evapotraspirazione e di ruscellamento; essa viene incrementata della quota parte dovuta all'infiltrazione da irrigazione.

Secondo un approccio Monte Carlo, è opportuno svolgere almeno 100 simulazioni per ognuna delle quali la ricarica deve essere campionata a partire da una distribuzione gaussiana limitata tra i valori minimo e massimo osservati. Il valore campionato stato viene poi attribuito al modello.

I risultati estratti al termine di ogni *run* vengono estratti ed aggregati in modo da comporre le curve di probabilità cumulata per gli eventuali punti di osservazione. Le curve stabiliscono, per ogni punto di osservazione, la probabilità che il valore di livello piezometrico mostrato in ascissa non venga superato. Quindi il valore di $(1-p)$ stabilisce la probabilità che tale livello piezometrico venga superato a causa di un

periodo di ricarica media annua elevata. A titolo di esempio nel seguente grafico (Figura 1) si mostra la probabilità di superamento delle quote di falda in alcuni piezometri. La

Tabella 2 riassume le probabilità di superamento delle quote di 112 m s.l.m. e 113 m s.l.m.

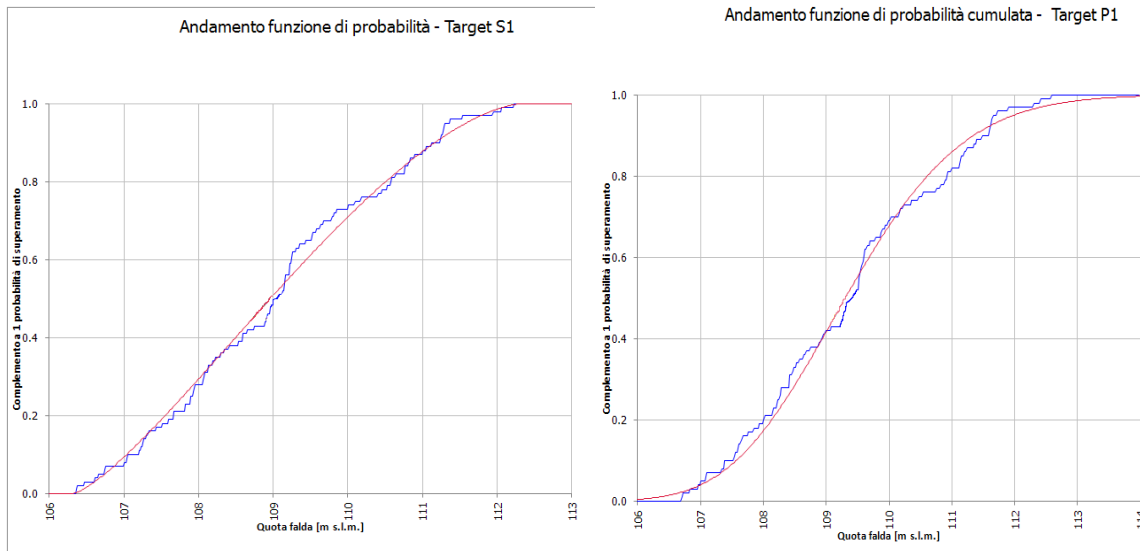


Figura 1 – Probabilità di superamento della quota 112 m s.l.m. in corrispondenza di alcuni piezometri, ottenute con il metodo Monte Carlo

Tabella 2 – Probabilità di superamento della quota 112 m s.l.m. e 113 m s.l.m.

TARGET	P (H>112)	P (H>113)
S1	1%	<1%
P1	3%	1%

Le particolarità delle oscillazioni piezometriche e della loro ampiezza nel corso degli anni suggeriscono di limitare la previsione a un arco di tempo limitato, entro il quale le condizioni socioeconomiche, demografiche e della produzione industriale, alle quali è da attribuire il maggior peso nel contributo alle variazioni del livello piezometrico, sono ragionevolmente prevedibili:

- la riduzione della popolazione nel comune di Milano e/o nei comuni posti ad est del capoluogo;
- la riduzione del prelievo dagli acquiferi più superficiali a causa, ad esempio, di inquinamento diffuso;
- una sensibile riduzione del consumo pro capite;
- l’ottimizzazione di strutture e modalità di prelievo e distribuzione delle acque sotterranee.

4 CONCLUSIONI

L’importanza di prevedere nella maniera più realistica possibile scenari di cambiamento nei livelli di falda nelle aree urbane risulta essere utile, sia perché è una zona ad alta concentrazione abitativa e residenziale, sia perché è sede di importanti infrastrutture viarie quali linee metropolitane e strade a scorrimento urbano ed extraurbano.

L’analisi delle serie storiche delle variabili che possono influenzare la variazione della falda tra i quali le precipitazioni, l’irrigazione e la portata di estrazione pubblica e privata mostra come tali variabili ne influenzino la variazione, già in generale sollevamento dal 1965 ad oggi.

L’analisi di tipo probabilistica può dare in termini di percentuale di superamento del

livello critico un'idea di come il livello di falda possa raggiungere livelli non accettabili per le infrastrutture esistenti nell'area di studio. Il modello previsionale risulta tanto più

accurato quanto più i dati di input risultano affidabili e provenienti da serie storiche di lunga durata.

5 BIBLIOGRAFIA

Cavallin A., Francani V., Mazzarella S., "Studio idrogeologico della pianura compresa tra Adda e Ticino", CAP Milano, 1983

Francani V., Avanzini M., "Verifica dell'oscillazione del livello di falda in corrispondenza del tracciato stradale 'Raccordo Tangenziale Est di Milano e Dogana di Segrate' – Allegato A: Ricostruzione dei profili piezometrici relativi all'ottobre 1998 e all'ipotesi B", Febbraio 1999

McDonald M. G, Harbaugh A.W., A modular three dimensional finite difference ground water flow model.U.S. Geological Survey Open File Report 83-875, 1984

Consorzio Villoresi Est Ticino (<http://www.etvilloresi.it/portal-villoresi/sv1.doc>) per i dati relativi ai prelievi agricoli

Provincia di Milano, Area qualità dell'ambiente ed energie (http://www.provincia.milano.it/ambiente/acqua/acque_sotterranee/) per i dati storici di piezometrie e soggiacenza

Servizio Meteorologico di ARPA Lombardia (<http://ita.arpalombardia.it/meteo/meteo.asp>) per i dati pluviometrici

SIARL – Sistema Informativo Agricolo della Regione Lombardia (<https://www.siarl.regione.lombardia.it/index.htm/>) per i dati relativi ai prelievi agricoli